

Treball de Fi de Màster

Enginyeria Industrial

**APLICACIÓ DE LA TECNOLOGIA
FOTOVOLTAICA
LOW COST AL CIRCUIT DE CASTELLOÍ**

MEMÒRIA

Autor: Albert Saiz Rabert
Director: Emilio Hernandez Chiva
Convocatòria: Gener 2019



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

El present projecte consta d'un estudi de la viabilitat tècnica/econòmica per la implementació de la tecnologia fotovoltaica per tal de realitzar un autoconsum que permeti desconectar de la xarxa el circuit Parcmotor de Castellolí. Les zones que disposa el circuit per instal·lar les lones fotovoltaiques són: la coberta del magatzem, totalment plana, que té una superfície de 520 m^2 , un talús inclinada respecte l'horitzontal en 45° orientada al sud que té una superfície útil aproximadament de 1200 m^2 i per últim una coberta semiesfèrica amb una superfície de 450 m^2 . Així doncs les 3 ubicacions sumen un total de 2.171 m^2 , que actualment estan del tot desaprofitades. Es té pensat utilitzar dos zones més del circuit per tal de poder ampliar la instal·lació fotovoltaica i fer front a la previsió d'augment de la demanda energètica pel 2030.

La tecnologia que s'utilitza en aquest estudi no és la més habitual que podem trobar en el mercat de l'autoconsum domèstic o industrial. Entre les diferents tecnologies existents s'ha escollit la tecnologia de capa fina, que la diferencia de la convencional perquè els mòduls fotovoltaics són flexibles, cosa que permet una adaptació pràcticament total en aquelles cobertes que presentin curvatures o inclinacions i del seu baix cost. No requereixen d'una estructura on recolzar els panells, sinó que van directament acoblats a la coberta, fet que abarateix el cost d'instal·lació i facilita el temps de la posada en marxa. També són més econòmics pel tipus de cèl·lula fotovoltaica emprada en aquests mòduls, ja que estan compostes de silici amorf (a-Si) i el seu procés de fabricació no precisa de tanta energia com les monocristal·lines o les policristal·lines. L'eficiència d'aquestes lones, de capa fina, solen rondar al 8%, mentre que amb cèl·lules mono o policristal·lines superen sense cap problema el 15%.

Pel que fa el consum actual del Parcmotor, per una banda es subministra directament de la xarxa elèctrica, un 30% del seu consum total i la resta del consum, el 70%, es fa a través de dos grups electrògens instal·lats en el circuit que consumeixen combustible fòssil. A l'any anterior, el consum elèctric del circuit va ser aproximadament de 131.000 kWh/any .

Amb les 3 regions esmentades anteriorment s'ha fet els pertinents càlculs i s'ha observat, que amb el producte escollit per aquest projecte, la potència fotovoltaica instal·lada és de $134,7 \text{ kWp}$, que surt un ràtio aproximat de 65 Wp/m^2 , l'energia que es podria obtenir és de 172.000 kWh/any . Sempre es tindrà com a font de reserva, en cas que fos necessari, el grup electrogen de 140 kW .

Per últim, la vessant econòmica es veu fortament condicionada per la instal·lació de bateries. La part positiva d'aquest projecte, és que es podrà utilitzar unes bateries de segona vida a cost 0, proporcionades per una empresa d'automòbils, i per tant farà que el projecte sigui més atractiu obtenint un TIR casi del 13%.

SUMARI

1. INTRODUCCIÓ	7
1.1. Objectius del projecte	7
1.2. Abast del projecte	8
2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	9
2.1. Característiques bàsiques de la tecnologia solar fotovoltaica.....	9
2.2. Evolució de l'energia solar fotovoltaica a Espanya des del 2012 fins als 2017.	10
2.3. Tipus de cèl·lules fotovoltaiques de Sílice.	13
2.3.1. Cèl·lules fotovoltaiques monocristal·lines.....	13
2.3.2. Cèl·lules fotovoltaiques policristal·lines	14
2.3.3. Cèl·lules fotovoltaiques de silici amorf.	14
2.4. Normativa de l'autoconsum fotovoltaic a Espanya.	16
2.4.1. REAL DECRET 900/2015, del 9 d'octubre, pel que es regula les condicions administratives, tècniques i econòmiques de les modalitats de subministra d'energia elèctrica amb autoconsum i de producció amb autoconsum.....	16
2.4.2. REAL DECRET LLEI 15/2018, del 5 d'octubre, de mesures urgents per la transició energètica i la protecció dels consumidors.	17
2.5. Balanç net	20
2.6. Bateries de segona vida	20
3. DESCRIPCIÓ DE L'ÀMBIT D'ACTUACIÓ	21
3.1. Localització del Parcmotor.	21
3.2. Instal·lacions del circuit.....	22
3.3. Àmbit d'actuació sobre el que es fundament l'estudi.....	24
3.3.1. Zona 1. Coberta de la nau polivalent.	25
3.3.2. Zona 2. Coberta semiesfèrica del pàdoc.	26
3.3.3. Zona 3. Talús inclinat.....	27
3.3.4. Resum de les zones	27
3.3.5. Altres zones del circuit	28
4. TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA APLICADA	29
4.1. Sistema fotovoltaic de la solució	29
4.2. Generador fotovoltaic de capa fina	30
4.3. Inversors	33
4.4. Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica.	35

4.4.1.	Número de lones fotovoltaïques connectades en sèrie	36
4.4.2.	Número mínim de lones connectades en sèrie	36
4.4.3.	Número màxim de lones connectades en sèrie	38
4.4.4.	Nombre de ramals	39
4.5.	Bateries	41
4.6.	Grup electrogen	43
4.7.	Esquema de la instal·lació fotovoltaïca	44
5.	RESULTATS ENERGÈTICS	45
5.1.	Càlcul de l'energia produïda	47
5.1.1.	Alternativa 1A. Producció fotovoltaïca 3 zones vs consum real	49
5.1.2.	Alternativa 1B. Producció fotovoltaïca 5 zones vs consum real	53
5.1.3.	Alternativa 1C. Producció fotovoltaïca 5 zones vs consum 2020	56
5.1.4.	Alternativa 1D. Producció fotovoltaïca 5 zones vs consum 2030	60
5.1.5.	Alternativa 2. Producció amb les lones fotovoltaïques policristal·lines vs consum del 2030	62
5.1.6.	Alternativa 3. Producció amb les lones fotovoltaïques monocristal·lines vs consum del 2030	66
6.	RESULTATS ECONÒMICS	72
6.1.	Pressupost Alternativa 1A.	72
6.2.	Ingressos per a l'alternativa 1A.	73
6.3.	Resum dels resultats	75
6.4.	Comparació de les alternatives	77
7.	MANTENIMENT DE LA INSTAL·LACIÓ	78
8.	ESTUDI DE L'IMPACTE MEDI AMBIENTAL DE LA INSTAL·LACIÓ	80
8.1.	Fase de construcció dels mòduls	80
8.2.	Fase d'operació i/o funcionament de la instal·lació	81
8.3.	Reduccions de les emissions de CO ₂	82
9.	CONCLUSIONS	84
10.	AGRAÏMENTS	87
11.	BIBLIOGRAFIA	88

1. INTRODUCCIÓ

Les precàries condicions que ofereix la xarxa de distribució per tal d'abastir el consum del circuit de Castellolí fa que a dia d'avui el subministrament elèctric suposi un gran esforç econòmic i ètic, ja que a més a més de pagar a la comercialitzadora, ha de fer front al consum de combustible dels seus dos grups electrògens, un de 40 kW i l'altre de 150 kW.

Juntament amb les grans hectàrees que disposa el circuit, dona lloc a la possibilitat d'aprofitar les energies renovables, en aquest cas la fotovoltaica, per realitzar un autoconsum aïllat de la xarxa i poder fer front al seu consum de forma autosuficient i amb tots els avantatges que suposen les renovables pel medi ambient i la transició energètica.

1.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest estudi és presentar una possible solució, tant a nivell tècnic com a nivell econòmic, de la problemàtica esmentada anteriorment del circuit Parcmotor de Castellolí, és a dir transformar el centre en una instal·lació totalment aïllada de la xarxa de distribució elèctrica a través de l'energia fotovoltaica de low cost (sílice amorf) i detallant tots els components que requereixi una instal·lació d'autoconsum pel seu correcte funcionament.

Com a objectius secundaris donar a conèixer la utilitat dels panells fotovoltaics flexibles a través de la tecnologia de capa fina, que en el nostre territori encara és molt minoritari, adonar-nos del gran potencial que pot oferir-nos les energies renovables en l'àmbit industrial, veure que són totalment competents en front les nostres necessitats de consum i tenir consciència de la magnitud d'un projecte d'aquestes característiques.

També es tindrà com a objectiu fer una comparació dels diferents rendiments que ens poden aportar les diferents tipus de cèl·lules fotovoltaïques de silici que a dia d'avui es comercialitzen en el mercat renovable, que en són 3.

En aquest projecte s'estudiarà la viabilitat de la instal·lació fotovoltaica des del punt de vista tècnic, econòmic i medi ambiental.

1.2. Abast del projecte

El circuit de Castellolí es troba en plena fase d'evolució en quan a la seva activitat i amb les instal·lacions que es vol arribar a tenir. Per una banda això comporta que el consum actual serà notablement menor que el d'aquí uns anys i per l'altre, que sortiran noves zones on poder col·locar mòduls fotovoltaics, per exemple es té pensat instal·lar una marquesina per aparcar-hi vehicles en dies de competicions, pèrgoles per la zona VIP, etc. De manera que es pren com a situació actual, la foto que podem extreure a principis del tercer trimestre del 2018.

Per tal de presentar una solució real, es farà un estudi de mercat pels diferents components que s'hauran d'instal·lar per dur a terme l'autoconsum. Aquest estudi ens permetrà veure el ventall de productes que es podrà utilitzar i extreure un anàlisi econòmic acurat. Es farà especial atenció amb les lones fotovoltaïques ja que és un producte de gran importància en quant a la producció d'energia i del cost de tota la instal·lació.

En la proposta del present projecte, es planteja la distribució dels mòduls en cada ubicació, com es connectaran amb els inversors i finalment quines bateries s'utilitzaran. Queda doncs fora de l'abast l'estudi del cablejat elèctric. Sí que es dissenyarà la col·locació dels mòduls i com es realitzarà la connexió serie-paral·lel de les plaques per tal de treure el màxim rendiment dels inversors.

Per a l'estudi energètic es justifiquen els càlculs de consum elèctric mensuals a través de les factures, però l'estudi mensual de la producció, acumulació i consum del grup electrogen es fa mitjançant la versió de programa gratis del PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System.)

2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1. Característiques bàsiques de la tecnologia solar fotovoltaica.

L'efecte fotovoltaic és la capacitat que tenen alguns materials per absorbir fotons de llum solar, que al seu torn exciten alguns electrons dels àtoms, que escapen de la seva posició normal en els àtoms per formar part d'un corrent en un circuit elèctric.

La tecnologia fotovoltaica ofereix avantatges considerables sobre altres formes de generació d'electricitat. Entre aquests avantatges, es pot incloure:

- Major eficiència en la generació d'electricitat.
- Mínim impacte ambiental.
- Font inesgotable d'energia a través de la llum del Sol.
- Gran flexibilitat: la mateixa tecnologia permet el desenvolupament de grans plantes i instal·lacions de petites unitats de generació distribuïda o d'autoconsum.

La generació d'electricitat amb energia solar fotovoltaica es basa en l'ús de panells o mòduls fotovoltaics compostos per cèl·lules que contenen materials semiconductors. Els materials més utilitzats per a la generació fotovoltaica són el silici monocristal·lí, el silici policristal·lí i el silici amorf, seguits de lluny del tel·lur de cadmi i un material compost de coure, indi, gal·li i seleni. Un dels materials que millors resultats està mostrant en investigacions recents és la perovskita.

En els últims anys, els preus de fabricació de les cèl·lules solars han caigut significativament, a causa de diversos factors, incloent les economies d'escala i la seva millora d'eficiència, fruit d'anys d'investigació. En l'actualitat hi ha plantes solars fotovoltaïques en més de 100 països d'arreu del món, amb una potència instal·lada de 303 GW a la fi de 2016.

La previsió de l'Agència Internacional de l'Energia és que el 2020 aquesta potència aconseguiria 424 GW (increment del 40% respecte a la potència instal·lada en 2016, amb una producció estimada de 533 TWh).

2.2. Evolució de l'energia solar fotovoltaica a Espanya des del 2012 fins als 2017.

D'acord amb la informació publicada per Red Eléctrica de Espanya en els seus informes anuals "El Sistema Elèctric Espanyol", la potència instal·lada connectada a xarxa de tecnologia solar fotovoltaica ascendia a 4.677 MW a la fi de 2016, la qual cosa suposava un increment del 3,0 % respecte a la potència instal·lada el 2012, 4.538 MW. Durant el període 2012-2016, la generació romandre força estable amb una producció mitjana al voltant de 8,2 TWh: el 2016 la generació elèctrica va suposar 7.965 GWh, sent la màxima producció en 2013, amb 8.324 GWh. Veiem però que l'augment en aquest període ha estat pràcticament nul per culpa de l'agressiva normativa que hi ha en front a les renovables.

Segons les dades registrades per UNEF, durant el 2017 a Espanya es van instal·lar 135 MW de nova potència fotovoltaica, fet que suposa un increment del 145% respecte als 55 MW instal·lats el 2016 i un important creixement enfront dels 49 MW de 2015. aquesta nova potència es reparteix entre instal·lacions d'autoconsum, projectes fotovoltaics connectats a la xarxa i donats d'alta com a productors d'energia elèctrica i instal·lacions desconnectades de la xarxa, sobretot per a ús agrícola i d'electrificació rural.

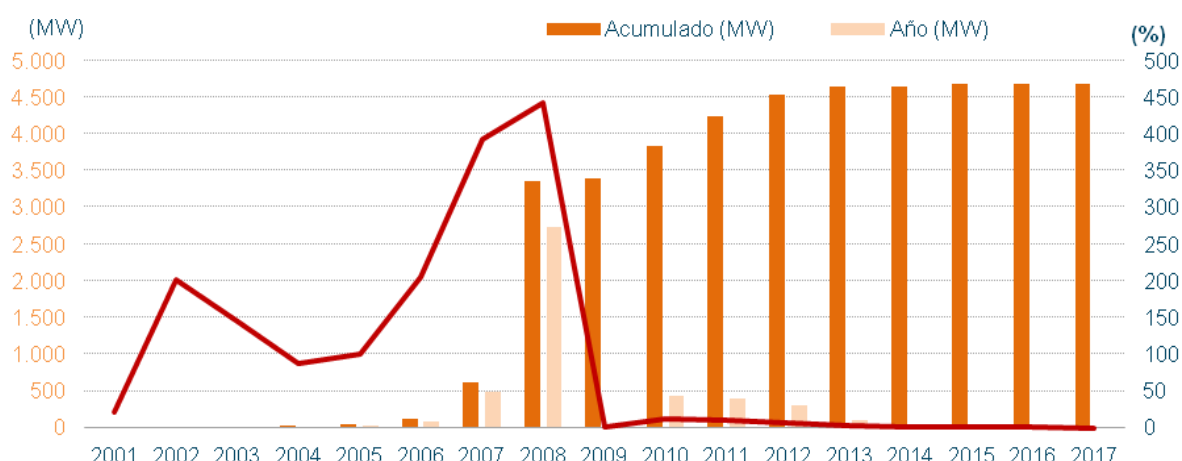
A més, cal destacar que la celebració de les subhastes d'energia renovable de l'any 2017 ha obert un escenari de ressorgiment del sector fotovoltaic, que instal·larà 3.9 GW fins a finals de 2019. Ara cal veure com es realitza aquesta subhasta i a qui s'atorguen aquests GW.

Aquest desenvolupament ha estat impulsat, d'una banda, per l'alt grau de competitivitat assolit per la tecnologia fotovoltaica, els costos s'han reduït de forma notable en els últims anys, caient un 73% entre 2010 i 2017, i, d'altra banda, per la voluntat dels ciutadans, de les pimes i de les administracions locals en demostrar el seu compromís amb la lluita contra el canvi climàtic, generant i consumint energia neta.

Encara que l'increment de la potència fotovoltaica instal·lada a casa nostra representa una notícia positiva per al nostre sector, des UNEF es vol destacar la competitivitat que ha arribat a la tecnologia fotovoltaica tot i les barreres administratives i econòmiques imposades a l'autoconsum.

	Potencia solar (MW)	Potencia solar sobre potencia total (%)
Albania	0	0,0
Alemania	42.020	20,2
Austria	1.031	4,1
Bèlgica	3.380	15,7
Bosnia-Herzegovina	0	0,0
Bulgaria	1.043	8,2
Chipre	0	0,0
Croacia	51	1,1
Dinamarca	908	5,8
Eslovaquia	530	6,9
Eslovenia	271	7,1
Espanya	6.991	6,7
Estonia	9	0,3
Finlandia	0	0,0
Francia	7.647	5,8
Gran Bretanya	12.900	13,9
Grecia	2.448	14,9
Holanda	2.584	8,1
Hungría	94	1,1
Irlanda	0	0,0
Islandia	0	0,0
Italia	19.662	14,8
Letonia	0	0,0
Lituania	82	2,3
Luxemburgo	128	7,4
Macedonia del Norte	17	0,9
Montenegro	0	0,0
Noruega	6	0,0
Polonia	285	0,7
Portugal	490	2,5
República Checa	2.040	9,8
Rumania	1.285	6,4
Serbia	0	0,0
Suecia	0	0,0
Suiza	1.394	7,9

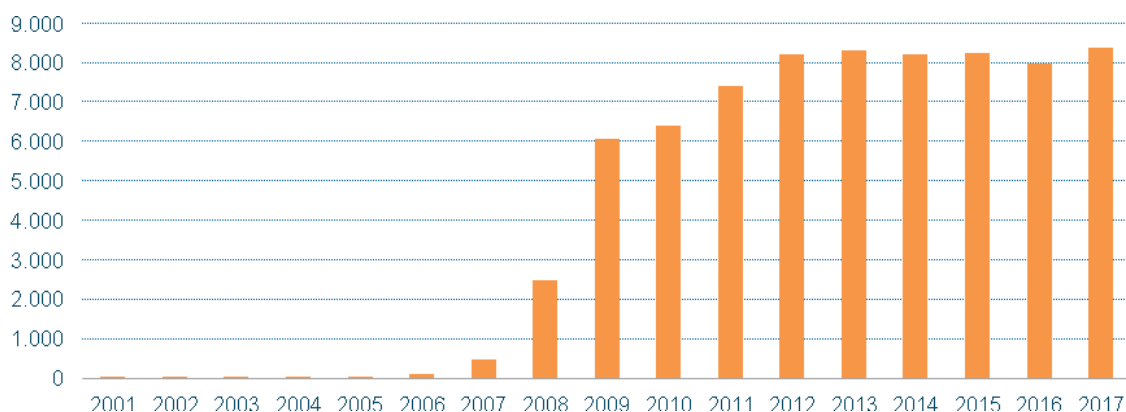
Imatge 1. Potencia solar instal·lada sobre potencia total en el 2017.



Imatge 2. Potencia solar fotovoltaica instal·lada a Espanya.

A la Imatge 2 es pot veure el gran estancament que hi ha hagut a Espanya des del 2012 amb l'energia solar fotovoltaica. Aquest estancament no ha estat únicament amb l'energia fotovoltaica sinó que amb totes les energies renovables.

Tinguent en compte que Espanya és un país on les condicions climàtiques són casi les òptimes per a la fotovoltaica, és molt vergonyós veure com s'ha aconseguit paraitzar el seu desenvolupament simplement per la poca voluntat política en incentivar la introducció d'aquesta tecnologia en el mercat i en el dia a dia dels ciutadans.



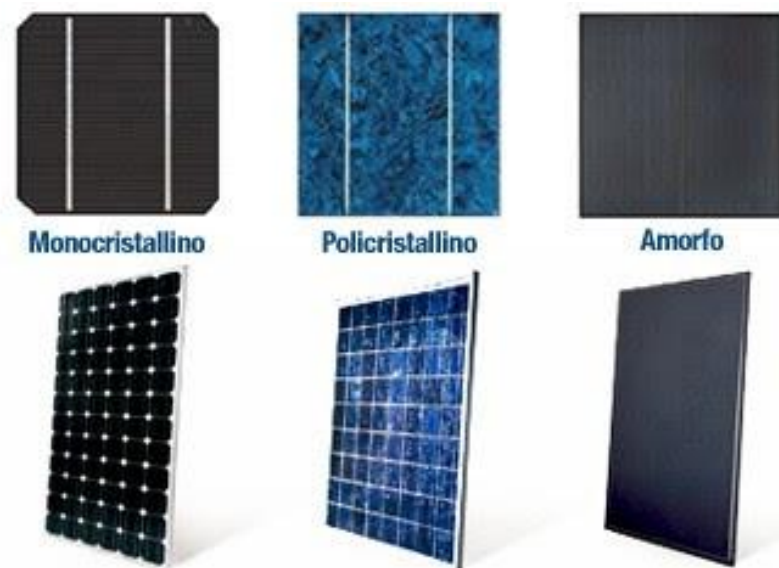
Imatge 3. Generació solar fotovoltaica a Espanya en GWh.

2.3. Tipus de cèl·lules fotovoltaiques de Sílice.

Les cèl·lules fotovoltaiques són les encarregades de convertir la radiació solar en energia elèctrica en forma de corrent continu. Les cèl·lules fotoelèctriques són un element indispensable per aquest tipus d'energia renovable.

Hi ha diferents tipus de cèl·lules fotoelèctriques depenent de la naturalesa i les característiques dels materials utilitzats. El tipus més comú és la cèl·lula de silici cristal·lí (Si). Aquest material es talla en làmines molt fines en forma de disc.

Les cel·les fabricades de blocs de silici o 'lingots' són les més comunes. L'experiència ha comprovat que la vida útil amb freqüència supera els 30 anys sense cap manteniment. No sorprèn que la majoria de les empreses s'atreveixen garantir un rendiment de 80% en 25 anys.



Imatge 4. Diferents tipus de cèl·lules fotovoltaiques de Sílice.

2.3.1. Cèl·lules fotovoltaiques monocristal·lines

Les cèl·lules monocristal·lines destaquen per estar fabricades amb silici de molt alta puresa. Per aquesta raó, aquest tipus de cel·les de color negre són les més eficients, també en termes d'espai, el que es tradueix en la pràctica en instal·lacions més petites. Es distingeixen pel seu color fosc i els seus talls arrodonits.

La cèl·lula solar de silici de monocristal·lí està formada per un gran monocristall de silici pur. Aquest vidre es fabrica principalment segons el mètode de Czochralski. Consisteix

en una fusió de gran puresa, del silici semiconductor grau amb només unes poques parts per milió de impureses en un gresol a 1425 graus Celsius.

Amb el major nivell d'eficiència del mercat, que pot arribar al 20%, les cèl·lules monocristal·lines són les més adequades per a la seva instal·lació en zones on l'exposició a la llum solar no és molt alta pel seu alt rendiment en aquestes condicions.

La llarga vida útil d'aquest tipus de cèl·lules, amb garanties en molts casos de 25 anys i capacitat per funcionar fins a 50, és un altre dels avantatges dels panells monocristal·lins que, però, compten també amb alguns contres respecte a altres alternatives.

Entre elles destaca l'alt preu de les cèl·lules monocristal·lines, que requereixen de més silici que les policristal·lines i que, a més, deriven en pèrdues de material durant el procés de fabricació, donat el tipus de tall que es realitza.

2.3.2. Cèl·lules fotovoltaïques policristal·lines

Els panells solars a força de cèl·lules policristal·lines compten amb una llarga trajectòria en la indústria, ja que la seva fabricació va arrencar ja en la dècada dels vuitanta.

El seu principal avantatge respecte a les cel·les monocristal·lines es que parteix d'un procés de producció de menor cost, que tira a la baixa el preu final d'aquests sistemes. Per a aquest producte, el silici es fon i s'introdueix en motlles amb els quals es dona forma a les cèl·lules. Amb aquest procés no només s'utilitza una quantitat molt menor d'aquest element, sinó que s'eviten les pèrdues en la fase de producció.

Encara que aquestes cèl·lules són més assequibles, compten amb alguns desavantatges. La menor tolerància a la calor d'aquestes cèl·lules fa que comptin amb una eficiència inferior a l'alternativa monocristal·lina. En concret, s'estima que en els panells que inclouen aquestes cel·les la ràtio d'eficiència és d'un màxim del 16%, fonamentalment per la menor quantitat de silici que incorporen.

L'efecte negatiu que les altes temperatures provoquen sobre aquestes cèl·lules, que fa que siguin encara menys atractives que les monocristal·lines per a usuaris que resideixin en àrees càlides, així com la seva menor eficiència respecte a l'espai, figuren també com desavantatges d'aquests sistemes.

2.3.3. Cèl·lules fotovoltaïques de silici amorf.

El funcionament d'una cèl·lula solar de capa fina de silici amorf és el mateix que les cristal·lines però la seva elaboració és molt diferent. Els aspectes característics d'aquesta tecnologia són:

- Procés de fabricació senzill i de fàcil automatització.
- Necessitat de poc material actiu i reducció de la despesa energètica i del cost.
- Facilitat per realitzar mòduls flexibles i amb òptima eficiència quàntica en un ampli rang de l'espectre.

Les cèl·lules de silici amorf han estat les primeres cèl·lules de capa fina que es van començar a comercialitzar, però, a causa de la baixada de preus experimentat pels panells solars cristal·lins, han anat perdent posicions en el mercat i actualment la seva implantació és molt reduïda. La tecnologia del silici amorf a-Si té una eficiència considerablement menor que les basades en silici cristal·lí, degut principalment a la mala qualitat del silici utilitzat, l'estructura interna dificulta la recol·lecció dels portadors fotogenerats. No obstant això, són especialment adequades per a ús en interiors, en atmosferes amb molta pols, etc, ja que no pateixen canvis de les seves propietats degut a la temperatura ni al cobriment parcial de les plaques.

Les plaques solars de silici amorf no consisteixen en la unió de cèl·lules individuals com en els panells solars cristal·lins, sinó en una làmina tallada a mesura en què s'observen unes tires primes que separen les cèl·lules, creades i connectades entre si durant l'elaboració del propi mòdul, el emmarcat facilita el maneig i el muntatge del mateix. En concret, s'estima que en els panells que inclouen aquestes cel·les la ràtio d'eficiència és d'un màxim del 9%, fonamentalment per la baixa qualitat de silici que incorporen.

2.4. Normativa de l'autoconsum fotovoltaic a Espanya.

2.4.1. REAL DECRET 900/2015, del 9 d'octubre, pel que es regula les condicions administratives, tècniques i econòmiques de les modalitats de subministra d'energia elèctrica amb autoconsum i de producció amb autoconsum.

Aquest RD va suposar un fre al autoconsum, enlloc de fomentar-lo, tal i com hauria de ser segons el que marca la Comissió Europea. Actualment aquest RD és vigent tot i que s'està modificant gràcies al Real Decret Llei 15/2018.

Article 1. Objecte

Bàsicament el RD 900/2015 té com a objecte l'establiment de les condicions administratives, tècniques i econòmiques per a les modalitats d'autoconsum d'energia elèctrica que defineix l'article 9 de la Llei 20/2013, de 26 de desembre, del sector elèctric.

Article 2. Àmbit aplicable.

Aquest real decret és aplicable a les instal·lacions connectades a l'interior d'una xarxa, encara que no aboquin energia a les xarxes de transport i distribució en cap moment, acollides a qualsevol de les modalitats d'autoconsum d'energia elèctrica.

Article 4. Classificació de modalitats d'autoconsum

1. Modalitat d'autoconsum tipus 1: correspon a la modalitat de subministrament amb autoconsum quan es tracti d'un consumidor en un únic punt de subministrament o instal·lació que disposi de xarxa interior d'una o diverses instal·lacions de generació d'energia elèctrica destinades al consum propi i que no estiguin donades d'alta en el Registre corresponent com a instal·lació de producció.
2. Modalitat d'autoconsum tipus 2: correspon a les modalitats d'autoconsum quan es tracti d'un consumidor d'energia elèctrica en un punt de subministrament o instal·lació que estigui associat a una o diverses instal·lacions de producció d'energia elèctrica connectades a l'interior de la seva xarxa o que comparteixin infraestructura de connexió amb aquest o connectats a través d'una línia directa.

TIPUS 1	TIPUS 2
<ul style="list-style-type: none"> - Potència <100kWp - No es pot vendre excedents a xarxa - Titular autoconsum = titular contracte - Balanç horari 	<ul style="list-style-type: none"> - Retribució dels excedents a preu de pool (uns 0,5€/MWh + impost de generació 7%) - Registre y obtenció del RAIPRE (<i>Registro Administrativo de instalaciones de producción de Energía</i>)

- Impost al Sol > afecta a les instal·lacions de més de 10 kWp
- Prohibició d'instal·lacions comunitàries: impediment de l'autoconsum compartit.
- La potència instal·lada ha de ser igual a la potència contractada.
- Tramitació molt feixuga a nivell administratiu i tècnic.

2.4.2. REAL DECRET LLEI 15/2018, del 5 d'octubre, de mesures urgents per la transició energètica i la protecció dels consumidors.

El 5 d'octubre del 2018 va sortir publicat el Real-Decret-Llei 15/2018. Aquesta nova llei és d'immediata aplicació i per tant ja és plenament vigent. Per altra banda aquest RD-Llei és de caràcter provisional, ja que en un període màxim d'un mes (des del 5 d'octubre) ha de ser referendada en el *Congres dels Diputats*. El dijous 15 d'octubre finalment es va aprovar en el Congrés. Així doncs només queda que a finals de gener del 2019, una vegada transcorregut els 3 mesos, ja s'hagi desplegat la totalitat de la reglamentació.

A continuació es farà un petit resum del contingut d'aquest Real Decret Llei que fa referència a l'autoconsum. Cal esmentar que en aquest RD-Llei engloba a altres temes com la pobresa energètica, el bo social, impost de generació, pròrroga para la connexió de instal·lacions de generació, obligacions de les comercialitzadores, etc.

1. **S'anul·la el més que conegut "impost del sol"**. Segurament aquesta sigui la mesura de més impacte, ja no pel seu impacte econòmic en la rentabilitat dels projectes, sinó per l'impacte mediàtic que suposa. Ja no es podrà tornar a escampar que l'autoconsum està prohibit o penalitzat.

El RD-Llei explicita que “ *La energía autoconsumida de origen renovable, cogeneración o residuos estará exenta de todo tipo de cargos y peajes*”, i que *en tot cas únicament els excedents produïts per les instal·lacions d'autoconsum*

hauran de pagar els peatges que corresponguin a l'ús de la xarxa de distribució de la mateixa manera que ho fan les instal·lacions de producció.

2. Es simplifica la classificació de les instal·lacions d'autoconsum.

1. Instal·lacions d'autoconsum sense excedents: En aquest cas només existirà un subjecte com a consumidor de l'energia, i serà necessari la instal·lació d'un equip de anti-vertido per poder justificar que no abocarà energia a la xarxa.
2. Instal·lacions d'autoconsum amb excedents: En aquest cas existirà el subjecte consumidor i el subjecte de productor d'electricitat, i serà necessari un procediment de legalització més complexa però que es podrà cobrar excedents produïts.

3. S'obra la porta a l'autoconsum compartit tot i que no es nombra explícitament més enllà del preàmbul del real decret llei, on es diu explícitament: *“se reconoce el derecho al autoconsumo compartido por parte de uno o varios consumidores para aprovechar las economías de escala”*. *D'aquí es pot interpretar la voluntat del Govern de regular l'autoconsum compartit. A través de l'article 18 s'interpreta que les instal·lacions d'autoconsum compartit seran aquelles en les que participen varis consumidors i que estaran connectades a la xarxa de baixa tensió derivada del mateix centre de transformació.*

4. Ens estalviem els equips de mesura per la generació neta i pel consum net. Sense cap dubte aquest punt si que suposarà un impacte positiu en la rentabilitat de les instal·lacions d'autoconsum. S'ha acabat l'haver d'instal·lar un conjunt de mesura normalitzat per la companyia elèctrica per la mesura de l'energia solar generada, lo qual no només suposava la instal·lació d'un comptador homologat, sinó també la instal·lació de tots els components associats, que per instal·lacions de més de 15 kW incloïa un mòdem, un punt de corrent, un interruptor general, la regleta de verificació, etc, que et feien augmentar el cost de la instal·lació. A més a més es tenia que fer una instal·lació de cablejat per tal de complir amb la ubicació dels equips de mesura per part de la companyia elèctrica.

5. Es permet instal·lar més potència solar que la potència contractada. Aquest fet és molt important ja que per exemple en instal·lacions domèstiques amb bateries, podem generar suficient energia diària com per cobrir casi el 100% de les nostres necessitats energètiques diàries i a la vegada podem reduir tant com sigui possible el terme fixe de la factura de la llum referent a la potència contractada., gràcies a la potència entregada de les nostres bateries

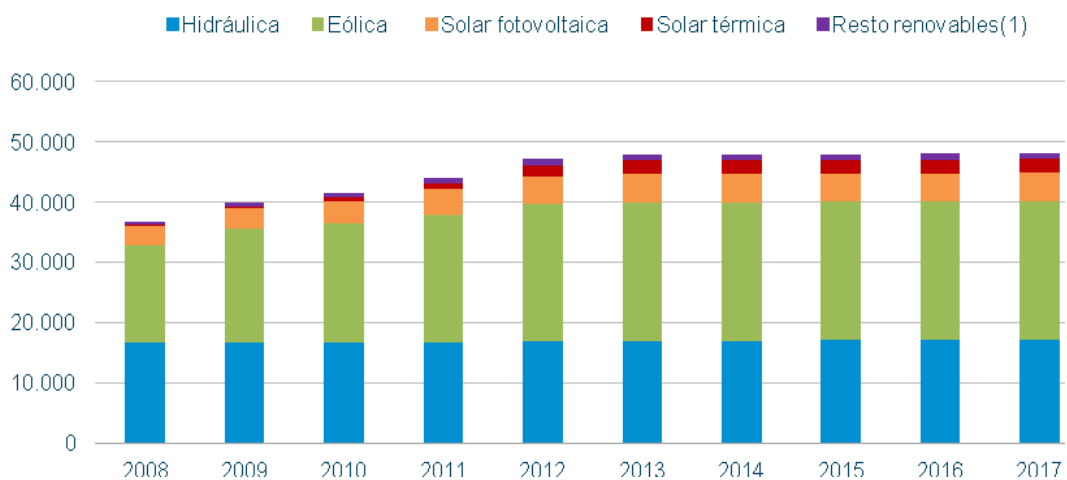
6. Es permet contractar la potència que un desitgi, independentment de les potències que fins ara eren normalitzades.

En el article 16, s'estableix que *“el consumidor podrá contratar la potencia en múltiplos de 0,1 kW siempre que la potencia contratada no supere los 15 kW y disponga de contador que permitan la discriminación horaria y la telegestión.”*

Això ens permetrà ajustar la potència contractada a la necessària gràcies a les instal·lacions d'autoconsum amb bateries.

7. **Es crea el registre administratiu d'autoconsum però es simplifica la inscripció de les instal·lacions.** El Ministeri de Transició Ecològica crea el registre administratiu d'autoconsum d'accés telemàtic i gratuït, amb l'objectiu de seguir l'activitat de l'autoconsum des del punt de vista del impacte econòmic.
8. **Es racionalitzen les sancions a l'autoconsum.** S'ha acabat les multes abusives de 60 milions d'euros per les instal·lacions d'autoconsum no legalitzades segons s'indicava en els articles 64 i 67 de la Llei 24/2013 del Sector Elèctric. Ara les sancions relacionades amb l'autoconsum seran la major entre l'import corresponent al 10% de la facturació anual pel consum d'energia elèctrica o el 10% per l'energia elèctrica venuda a la xarxa.

Amb l'entrada en vigor del RD 1/2012, van suprimir les primes econòmiques per noves plantes de renovables i cogeneració. Això va provocar un estancament en la producció de plantes d'aquest estil que portava un augment progressiu del 14% anual des del 2004.



Imatge 5. Evolució de la producció (MW) d'energia renovables a Espanya.

2.5. Balanç net

La gran majoria de països amb regulació de l'autoconsum introdueixen el concepte de "Balanç Net" per un ús eficient de la xarxa elèctrica.

El balanç net suposa que quan una instal·lació d'autoconsum genera més energia de la que consumeix en aquell moment (per exemple en una casa que durant el dia es queda buida), la cedeix a la xarxa. En canvi, quan necessita electricitat i la instal·lació fotovoltaica no produeix, com quan s'amaga el sol, agafa de la xarxa un equivalent al que ha cedit durant el dia.

En els últims anys, a causa del fort creixement de petites instal·lacions d'energia renovable, l'autoconsum amb balanç net ha començat a ser regulat en diversos països del món, sent una realitat en països com: EEUU, Canadà, Austràlia, Bèlgica, Brasil, Xile, Dinamarca, França, Alemanya, Israel, Itàlia, Japó, Mèxic, Suïssa, Holanda o la Gran Bretanya ja contenen amb sistemes en aquest sentit.

Aquest concepte és una clara aposta per a una transició energètica apostant per les energies renovables i per l'autoconsum, ja que la xarxa elèctrica, a més a més de distribuir l'electricitat, també fa la funció de gran bateria pels consumidors.

2.6. Bateries de segona vida

Ja que aquest projecte finalment es podrà veure beneficiat d'aquest concepte de bateries de segona vida, s'ha trobat oportú dedicar-hi un espai teòric.

Els cotxes elèctrics necessiten unes bateries que tenen un cost significatiu. Les bateries envelleixen i a mesura que passa el temps cada cop són capaces d'emmagatzemar menys energia. Atès que precisament l'autonomia és la gran mancança dels vehicles elèctrics, és probable que aviat comenci a haver-hi qui ha canviat la bateria del cotxe elèctric perquè estava envellida. Aquestes bateries es poden reciclar però, potser, abans se'ls podria donar una segona utilitat. Els primers estudis indiquen que les bateries dels cotxes elèctrics, amb 10 anys de vida, a penes han perdut el 20% del seu rendiment, de manera que sorgeix la possibilitat de donar un segon ús a l'esmentat component fora del vehicle amb un 80% de la seva capacitat.

És en aquí on podem aprofitar aquest segon cicle, o segona vida, de les bateries per tal d'aprofitar-les en un autoconsum on la descàrrega és més estable, amb molt menys sobre pics que no pas en un vehicle elèctric.

3. DESCRIPCIÓ DE L'ÀMBIT D'ACTUACIÓ

El circuit Parcmotor està situat en un entorn completament natural a la població de Castellolí, a escassos quilometres de la capital de la comarca de l'Anoia, Igualada. Amb una superfície de 100 ha, actualment ofereix la possibilitat de gaudir de l'experiència de cursos de conducció i carreres tant en àmbit professional com amateur. Un dels objectius del circuit és convertir-lo en un referent tecnològic amb un ecosistema integrat de innovació en l'àmbit del vehicle connectat i autònom.



Imatge 6. Circuit Parcmotor Castellolí.

3.1. Localització del Parcmotor.

- Carretera Nacional A-2, Km 560
- Localitat: CASTELLOLÍ, 08719
- Província: Barcelona.

3.2. Instal·lacions del circuit.

El circuit Parcmotor de Castellolí consta de les següents instal·lacions:

- I. Un circuit de velocitat de 4.410 m de longitud amb importants desnivells, 14 m d'ample, un pàdoc de 14.000 m², on s'alberguen 14 boxes, i un total de 11 revolts.



Imatge 7. Circuit de velocitat del Parcmotor

- II. Una pista de MX, 4x4 i SUV de 1600 m de longitud, 10 d'ample, amb 12 salts. Aquesta pista s'utilitza per a proves, tandes i cites 4x4.
- III. Pistes de trail tant indoor com outdoor on hi ha més de 15.000 m² de bosc.
- IV. La zona reservada per l'escola de conducció ofereix formació per diferents tipus de vehicles, també fan formacions en seguretat contra incendis i conducció segura per pistes de risc. Per això compta amb 1 km de pista amb diferents superfícies, una plataforma lliscant de 7.000 m² i l'edifici on hi trobem les aules i els simuladors.
- V. A més, té una part de la superfície que s'ha destinat a l'oci que consta de:
 1. Un circuit de karting
 2. Unes instal·lacions de paintball
 3. Zona lúdica on realitzar activitats de *Humor Amarillo*

A part de les zones on es pot practicar les diferents activitats esmentades anteriorment, el circuit també consta d'una nova zona de bar-restaurant, d'unes oficines des d'on es gestiona el funcionament del Parcmotor i una zona de pàrquing.

Com un exemple de projecte innovador és el que s'està duen a terme, gràcies a la col·laboració d'una tercera empresa especialista en les telecomunicacions, Cellnex, per fer del Parcmotor un circuit únic, innovador i pioner a Europa. L'objectiu és distribuir una xarxa sense fil amb cobertura a tot el recinte, de manera que permeti la connectivitat entre els vehicles, càmeres d'alta definició pel seguiment de vehicles en pista i unitats per la transmissió de veu i vídeo a més a més de cobertura de banda ampla.



Imatge 8. Implementació de la tecnologia Cellnex en el circuit.

En la Imatge 8 es poden veure aquestes faroles autosuficients, que estan repartides per tot el circuit de velocitat, de manera que apart de il·luminar-lo també porten incorporades una càmera DUOMO 360°, altaveus, punts de cobertura d'Internet i sensors per detectar als possibles vehicles autònoms.

3.3. Àmbit d'actuació sobre el que es fundament l'estudi

Abans d'entrar en detall en els càlculs realitzats per les plaques flexibles fotovoltaïques, així com amb el producte escollit, etc, es detalla les diferents zones escollides del circuit per ubicar les instal·lacions fotovoltaïques.

Cal apreciar que totes les zones seleccionades, per col·locar les plaques flexibles fotovoltaïques, no tenen presència de ombres, ja que el circuit està situat en una zona molta oberta on hi té presència el sol durant tot el dia i la seva orientació és la correcta per l'aprofitament solar.

Comentar també que s'han demanat informació tècnica de les diferents edificacions del circuit, de manera que el director del Parcmotor ha facilitat una sèrie de plànols que van adjuntats a l'annex del projecte. Aquells plànols que no han sigut possible de tenir, es va optar per anar juntament amb el director del projecte l'Emilio Hernández, a mesurar les dimensions de les diferents zones, sobretot del talús inclinat i de possibles noves zones futures, on es podrien instal·lar més mòduls fotovoltaïcs, per tal de tenir dades precises.

Actualment el circuit té pensades utilitzar 3 zones (detallades posteriorment) per instal·lar les lones fotovoltaïques i els altres elements necessaris per poder realitzar l'autoconsum. No obstant, a part d'aquestes 3 zones, també es té pensat utilitzar una quarta i cinquena zona en un futur proper per tal d'augmentar la capacitat instal·lada i poder fer front a l'augment del consum dels propers anys.

3.3.1. Zona 1. Coberta de la nau polivalent.

Aquesta edificació és la més recent que s'ha dut a terme en el Parcmotor. És un edifici que s'utilitza com a magatzem del circuit. La coberta d'aquesta nau presenta una lleugera pendent i està pensada per utilitzar tota la seva superfície per instal·lar els mòduls flexibles.



Imatge 9. Ubicació de la Nau Polivalent del circuit.

A la imatge 4, es pot observar l'emplaçament de la nau polivalent marcada amb un rectangle de color blau. L'edificació que es veu, fa referència al pàdoc del circuit, on hi ha els 14 boxes, de manera que la nova nau només es separa de la zona de competició pel pàrquing de camions del circuit.

La coberta fa un total 55 metres de longitud i 12 metres d'amplada, a l'annex es pot veure el plànol en planta de la nau polivalent. Té doncs un total de 660 m², però un cop tenim en compte els pilars i un petit mur perimetral de protecció contra caigudes, la superfície útil restant per col·locar els mòduls fotovoltaics és de 520 m² (52x10 metres).

3.3.2. Zona 2. Coberta semiesfèrica del pàdoc.

La coberta amb forma de semiesfera, està situada sobre dels boxs, al costat de la recta principal del circuit i cobreix tota la zona VIP del circuit. Es veu clarament la corba que fa la coberta, és en aquí on els panells flexibles podran cobrir més superfície i donaran una millor estètica a aquesta nova edificació que no pas si s'utilitzessin panells fotovoltaics fixes. També com que no precisen de cap estructura de suport no cal pensar en reforçar la coberta, ja que el pes que s'afegirà serà menyspreable.



Imatge 10. Estètica de la coberta semiesfèrica.

Comentar que a les ales laterals que sobresurten de la coberta no s'utilitzarà com a superfície útil per col·locar els panells flexibles. Així doncs la coberta semiesfèrica té una longitud total de 44 metres, una amplada de 13 metres i una superfície útil de 462 m².

3.3.3. Zona 3. Talús inclinat.

Aquesta és la zona amb més superfície útil per instal·lar els mòduls fotovoltaics. Com el seu nom indica, és una vessant de sorra orientada totalment al sud amb una forta inclinació de 45° . Està situada al costat de la recta principal del circuit i a l'altra banda dels boxes. En aquesta zona, les plaques flexibles hauran d'anar recobertes d'un marc per tal de poder-les fixar amb la superfície, ja que no és un terreny regular i homogeni. Una altra possible solució seria posar prèviament una lona fixada amb la vessant i llavors instal·lar les plaques fotovoltaïques a la lona. Aquesta segona opció segurament tindria un impacte visual superior, ja que estem parlant d'una gran superfície i augmentaria el cost de instal·lació de la zona en concret.



Imatge 11. Planta del talús.

Així doncs el talús on es col·locaran els mòduls fotovoltaics, consta d'una superfície útil d'uns 1.200 m^2 . La paret inclinada (hipotenusa) fa 12 metres d'allargada i l'amplada segueix paral·lela a la recta del circuit i té una longitud total de 140 metres.

3.3.4. Resum de les zones

La informació que s'ensenya a continuació, a la Taula 1, ens serveix per tenir més present les diferents zones i les seves característiques de cares a la instal·lació dels mòduls fotovoltaics:

ZONES	LONGITUD "X" [m]	LONGITUD "Y" [m]	SUPERFÍCIE ÚTIL [m ²]
NAU POLIVALENT	52	10	520
SEMIESFÈRICA	42	11	462
TALÚS	140	8,49	1.188
TOTAL			2.170

Taula 1. Informació de les zones del projecte

3.3.5. Altres zones del circuit.

Tot i que en un primer moment es va pensar que en aquest projecte s'utilitzaran les 3 primeres zones per tal de fer la instal·lació fotovoltaica, no es descarta utilitzar les següents zones en cas de que fossin necessaris en un futur proper per fer front al creixement del consum previst pel 2030.

Zona 4: Tota la coberta del pàdoc:

El pàdoc del circuit està format per 3 cobertes de les quals una és semiesfèrica, que coincideix amb la zona 2 explicada en aquest projecte. De manera que les 2 zones restants són dos cobertes rectangulars que es podrien utilitzar en el projecte. Així doncs la coberta situada més a l'entrada del circuit té unes dimensions de 30 metres de longitud per 19 d'amplada formant una superfície de 570 m² i l'altre coberta rectangular té unes dimensions de 47 metres de longitud per 19 d'amplada formant una superfície de 893 m². Un total de 1.463 m² de superfície útil.

Zona 5: Marquesina

Just a la zona dels *motorhomes* (part de darrera dels boxes) es vol instal·lar una marquesina per tal de cobrir l'aparcament VIP del circuit. Es té pensat doncs augmentar la instal·lació fotovoltaica cobrint la marquesina del pàrquing amb lones fotovoltaiques. Aquesta zona 5 té unes dimensions de 120 metres de longitud i 6 metres d'amplada formant una superfície útil de 720 m².

4. TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA APLICADA

4.1. Sistema fotovoltaic de la solució

S'ha escollit la tecnologia fotovoltaica de capa fina ja que la superfície disponible, per les instal·lacions fotovoltaiques, del circuit no és cap condicionant. De manera que al tenir una superfície molt més gran de la necessitada per cobrir el consum elèctric, s'utilitza la tecnologia més econòmica per a aquestes situacions, tot i que no és la més utilitzada en el mercat. Més del 60% dels autoconsums fotovoltaics s'utilitzen panells policristal·lins i en la majoria dels casos restants s'utilitza la tecnologia monocristal·lina.

A més a més dels avantatges mencionats anteriorment, amb el sistema que s'ha considerat com a solució, incideix de forma positiva a millorar notablement l'eficiència en els edificis industrials i aprofitar millor l'espai disponible amb un cost de manteniment insignificant o quasi nul.

Dins de les diferents instal·lacions fotovoltaiques existents, la opció de cobertes solars és una de les modalitats més atractiva ja que l'únic que es fa és aprofitar una superfície que inicialment no se li donava cap ús ja sigui a nivell industrial, com a nivell domèstic.

Aquesta solució pot ser de gran interès i anar dirigit a:

1. Propietaris de naus industrials que tinguin una superfície, de captació mínima, en coberta que podrà ser aprofitada per la producció d'energia neta que suposarà un estalvi posterior a les seves factures elèctriques.
2. Als promotors i empreses constructores de naus industrials podran distingir-se de la competència amb una idea innovadora, rentable i amigable amb el medi ambient.
3. A les empreses dedicades a la reparació de cobertes de tot tipus, ampliant així l'oferta de productes i a la vegada que possibles serveis de manteniments de les mateixes instal·lacions.
4. A particulars a nivell domèstic amb consciència ecològica i per realitzar una transició energètica des de la ciutadania.

4.2. Generador fotovoltaic de capa fina

Una vegada es té present quina és la superfície, del Parcmotor, que es pot utilitzar per començar la instal·lació fotovoltaica (superfície útil), el primer producte que marcarà la resta dels components són els mòduls fotovoltaics, ja que determinen quina serà la potència instal·lada (kWp) i per tant quanta energia es produirà, quants inversors es col·locaran i com es farà aquesta connexió per tal de obtenir el màxim rendiment.

Recordar que en aquest projecte s'utilitzarà la tecnologia de capa fina, de low cost, i flexible. Això implica que els panells fotovoltaics utilitzaran com a cèl·lules captadores de la llum, les A-Si, conegudes com de sílice amorf que determinen la seva composició tal i com s'ha explicat anteriorment on el seu rendiment és del 8%.

Comentar també que en l'estudi energètic, es realitzaran càlculs amb tecnologia de lones flexibles però composades per cèl·lules fotovoltaïques de silici mono i policristal·lins i s'adjuntaran les seves fitxes tècniques a l'annex corresponent. Això servirà per comparar que depenent de la composició de la tecnologia fotovoltaica emprada, per una mateixa superfície útil, pot variar notablement la potència instal·lada i el cost de la instal·lació, ja que la riquesa del silici en les cèl·lules té una gran repercussió en quant eficiència però també en cost.

Així doncs a través d'un estudi de mercat i de negociar amb diferents productors de panells fotovoltaics de capa fina A-Si, s'arriba a la conclusió que les plaques escollides són les de l'empresa xina anomenada Sinoltech. S'ha escollit a aquesta empresa perquè és la que s'ha interessat més pel cas plantejat i la que ha ofertat un producte més atractiu sobretot en l'àmbit econòmic.

S'ha intentat donar prioritat a productors espanyols, però com que la tecnologia de capa fina no està gaire desenvolupada en el mercat estatal no hem trobat productors de lones fotovoltaïques de sílice amorf. Antigament fins el 2009 existia l'empresa Uni-Solar que va ser una gran pionera a nivell mundial en aquest tipus de lones fotovoltaïques de A-Si. Actualment es comença a veure productors de lones fotovoltaïques a nivell estatal però utilitzen cèl·lules policristal·lins i inclús monocristal·lins com TSO (Sevilla) i Nousol (Granollers) ja que es comercialitzen més a nivell mundial.

El producte escollit de l'empresa Sinoltech és la lona fotovoltaica flexible anomenada SNR36-291. Aquest panell flexible té una potència màxima de 291 Wp, té una longitud de 5.16 m i una amplada de 0.889 m. La superfície de cada lona és de 4.59 m². El cost es representa en €/Wp i segons les negociacions, el preu un cop instal·lada és de 0.76 €/Wp. Segons la meua experiència laboral em sembla un preu més car del real però entenc que no vulguin donar informació del cost real per un projecte final de màster. De fet amb totes les altres empreses que he negociat per tenir detall dels preus dels seus productes m'han enviat uns preus més elevats que no pas els de mercat, entenc que seguint aquesta filosofia.



Imatge 12. Producte escollit SNR 36-291 de Sinoltech

Seguidament a la taula es veu reflectit les característiques tècniques del producte SNR36-291, a l'annex s'adjuntarà la fitxa tècnica completa que m'ha enviat el fabricant.

Fitxa tècnica	SNR36-291	
Potència màxima (Pmax)	291 Wp	
Voltatge màxima potència	58.20 V	
Intensitat de màxima potència	5.00 A	
Eficiència	8%	
Nombre de cèl·lules	36 cèl·lules Sílice amorf	
Longitud	5160 mm	
Amplada	889 mm	
Superfície	4.59 m ²	

Imatge 13. Resum de la fitxa tècnica del producte utilitzat en el projecte

Segons els càlculs del projecte, tenint en compte les dimensions (en X i en Y) de cada zona del circuit i les dimensions de cada lona fotovoltaica arribem a la conclusió que s'instal·laran un total de 449 lones fotovoltaiques repartides en les diferents zones i la suma de la potència pic total instal·lada en les 3 zones és de 130.66 kWp.

A la següent imatge es veu com ha quedat la distribució en la diferents zones del circuit. Quantes unitats s'instal·laran a cada regió i quina és la potència instal·lada. També es veu la dada de la superfície ocupada per les lones fotovoltaiques i serveix per adonar-nos de la gran adaptació que tenen aquestes lones amb l'espai útil.

Zones	Superfície Útil [m ²]	Superfície ocupada [m ²]	Lones SNR36-291 [unitats]	Potència instal·lada [kWp]
Zona 1	520	505	110	32.01
Zona 2	462	440	96	27.93
Zona 3	1188	1115	243	70.71

Imatge 14. Resum de les característiques de cada zona.

4.3. Inversors

L'inversor és el següent element més important en una instal·lació fotovoltaica, ja que és l'encarregat de modular el corrent continu (CC) que ens ofereixen les cèl·lules fotovoltaïques en corrent altern (CA) per tal de que sigui apta pel consum.

Aquest element és el que ens determinarà la potència nominal de la instal·lació fotovoltaica. Per tant veiem que apareixen dos conceptes de potència que no tenen el mateix significat.

La potència instal·lada o potència pic (kWp) d'una instal·lació fa referència a la suma de les potències de cada panell fotovoltaic (Wp) que composi el camp fotovoltaic. Mentre que la potència nominal (kWn) fa referència a la potència dels inversors, l'equip elèctric que transforma l'energia generada dels panells apta pel consum. La majoria de vegades, la potència pic és superior a la potència nominal. El perquè doncs s'explica a continuació; Tots els assajos per tal d'obtenir les fitxes tècniques de les plaques fotovoltaïques es fan sota unes condicions normalitzades anomenada STC. Aquestes condicions equivalen a una radiació solar de 1000W/m², temperatura de la cèl·lula fotovoltaica de 25 °C i un valor espectral de 1,5 AM. Cal aclarir que la radiació en un dia normal moltes vegades és inferior a 1000W/m² i la temperatura de la cèl·lula supera els 25°C de manera que el rendiment del panell fotovoltaic es veu reduït. Per tant el que es fa per maximitzar la capacitat dels inversors és sobre dimensionar les plaques fotovoltaïques per fer front a les condicions reals.

La potència nominal és doncs la que marca el límit ja que no es pot produir més energia de la que l'inversor pot convertir, per això es diu que és el segon coll d'ampolla.

Atenent a la potència instal·lada a cada zona del circuit hem escollit 3 models de inversors de la mateixa marca per tal d'adaptar-nos al que ens pot proporcionar cada

zona, també hem escollit el nombre d'unitats que aniran a cada zona i com es farà la connexió amb les lones fotovoltaïques.

El producte escollit són tres inversors de la marca SMA Solar Technology, ja que aquest fabricant té un alt prestigi al món de l'autoconsum fotovoltaic, ja que fabrica inversors d'alt rendiment per instal·lacions de diferents dimensions; qualsevol potència i independentment del tipus de placa solar que s'utilitzi pel projecte fotovoltaic. A més a més d'això, es disposa d'accés al portal online, Sunny Portal, on es monitoritza l'estat de la instal·lació en cada moment per tal de poder fer un petit manteniment predictiu i donen una garantia mínima de 5 anys pels seus equips.

Per tal d'obtenir un sistema el màxim equilibrat possible, la connexió es farà amb múltiples inversors trifàsics. La potència nominal de la instal·lació serà de 125 kW. Per fer la instal·lació s'utilitzaran 4 inversors del model Sunny Tripower 20000TL, 3 inversors Sunny Tripower 10000TL i 1 inversor Sunny Tripower 15000 TL que fan un total de 8 inversors. Això també ens ajudarà a tenir una instal·lació més robusta, ja que si hi hagués algun inversor que deixes de funcionar només es deconnectaria una zona en concret.



Imatge 15. Inversor marca SMA model Sunny Tripower 20000 TL

Els tres models que s'ha escollit, són inversors pràcticament idèntics en quant aspecte però canvien les seves especificacions tècniques. A l'annex s'adjuntaran les corresponents fitxes tècniques que ens ha proporcionat el fabricant.

Abans d'entrar amb el dimensionat del parc fotovoltaic, es mostrarà una taula on veurem les característiques de cada zona i quina ha estat la distribució dels inversors.

	Potència instal·lada [kWp]	Sunny Tripower 10000 TL	Sunny Tripower 15000 TL	Sunny Tripower 20000 TL	Potència Nominal [KWn]
Zona 1	32.01	1	0	1	30
Zona 2	27.93	1	1	0	25
Zona 3	70.71	1	0	3	70

Imatge 16. Distribució dels inversors i potència nominal a cada zona

4.4. Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica.

Atenent a les especificacions tècniques de les lones fotovoltaïques i dels inversors, cal establir com es farà la connexió sèrie-paral·lel de la instal·lació per tal d'obtenir el màxim rendiment dels inversors. Primer de tot es faran els càlculs per veure quantes lones fotovoltaïques aniran connectades en sèrie a cada ramal i tot seguit es calcularà quants ramals (connexions en paral·lel) es connectaran a cada inversor. Així doncs tot seguit es mostra un quadre resum de les característiques principals de les lones i de cada model de inversor:

INVERSORS	Sunny Tripower 10000 TL	Sunny Tripower 15000 TL	Sunny Tripower 20000 TL
P_{PMP} [kW]	10	15	20
$U_{m\grave{a}x}$ [V]	1000	1000	1000
U_{min} [V]	150	150	570
$I_{m\grave{a}x}$ [A]	33 – 12,5	40 – 12,5	36

Imatge 17. Característiques bàsiques dels inversors SMA

LONES FOTOVOLTAIQUES	SNR36-291
P_p [Wp]	291
U_{MP} [V]	58,2
I_{MP} [A]	5
U_{OC} [V]	79,5
I_{SC} [A]	6,35
Temperatura ΔI [%/°C]	0,1
Temperatura ΔU [%/°C]	-0,38

Imatge 18. Característiques bàsiques de les lones en condicions STC

Amb aquests valors que ens subministren els fabricants de cada aparell, es realitzaran els càlculs necessaris per obtenir un bon dimensionat de la instal·lació fotovoltaica.

4.4.1. Número de lones fotovoltaïques connectades en sèrie

Per a cada inversor el número màxim de panells fotovoltaïcs que es poden connectar en sèrie vindrà donat segons les condicions extremes (principalment en quant a temperatura) que es puguin donar al llarg de l'any. Per això cal assegurar el funcionament de l'inversor garantint la tensió mínima per tal de que arranqui, i en segon lloc, per no provocar averies a l'aparell per sobretensions. Així cal establir el número mínim de mòduls connectat en sèrie i el número màxim.

També cal tenir en compte quants ramals (conjunt de panells en paral·lel) es pot connectar a cada inversor per tal de no provocar sobreintensitats en el sistema.

4.4.2. Número mínim de lones connectades en sèrie

Ve limitat per la tensió mínima d'entrada a l'inversor, que ha de ser menor o igual que la tensió de màxima potència mínima del generador fotovoltaic, que correspon a una temperatura del mòdul màxima. Aquestes condicions succeeixen quan la radiació incident sobre el pla del generador sigui màxima i una temperatura ambient màxima. Quan la tensió en el punt de màxima potència del generador està per sota de la tensió d'entrada mínima de l'inversor, aquest no serà capaç de seguir el punt de màxima potència del generador fotovoltaic o fins i tot, en el pitjor dels casos s'apagarà. Per això s'ha de dimensionar de manera que el nombre mínim de mòduls connectats en sèrie en

un ramal s'obtingui com el quocient de la tensió mínima d'entrada de l'inversor i de la tensió mínima del mòdul per una radiació de 1000 W/m^2 i una temperatura de cèl·lula màxima, que es considera 60°C , tenint en compte on està situat el projecte (Castellolí).

$$N_{\min} = \frac{U_{\min \text{ INV}}}{U_{TC}} \quad \text{Eq. 1}$$

On

- On N_{\min} són el nombre mínim de lones connectades en sèrie
- $U_{\min \text{ INV}}$ ve donada pel fabricant de inversors
- U_{TC} el voltatge a la temperatura $T_c = 60^\circ\text{C}$

De manera que falta obtenir la tensió mínima en el cas més crític que és en el punt de màxima irradiació i màxima temperatura, ja que la tensió disminueix a mesura que augmenta la temperatura:

$$U_{TC} = U_{60^\circ\text{C}} = \left(1 + (TC - 25) \cdot \frac{\Delta U}{100}\right) \cdot U_{MP} \quad \text{Eq. 2}$$

Substituint els valors a l'Eq. 2 s'obté:

$$U_{TC} = U_{60^\circ\text{C}} = \left(1 + (60 - 25) \cdot \frac{0,38}{100}\right) \cdot 58,2 = 50,46 \text{ V}$$

Recuperant l'Eq.1 i substituint valors arribem a la conclusió que el número mínim de lones que s'han de connectar per tal d'evitar problemes amb l'inversor és de:

$$N_{\min} = \frac{570}{50,46} = 11 \text{ lones}$$

$$N_{\min} = \frac{150}{50,46} = 3 \text{ lones}$$

S'observa doncs que per l'inversor de 20 kW de potència nominal es requereixen 11 lones connectades en sèrie i pels inversors de 15 i 10 kW de potència nominal en necessiten 3.

4.4.3. Número màxim de lones connectades en sèrie.

El valor màxim de la tensió d'entrada a l'inversor correspon a la tensió de circuit obert del generador fotovoltaic quan la temperatura del mòdul és mínima. Això es correspon amb una temperatura ambient mínima, que considerarem de -5°C i per a una irradiància mínima que considerarem de 100 W/m^2 . Per evitar problemes hem de fer que la tensió de circuit obert del generador fotovoltaic sigui sempre menor que la tensió màxima d'entrada al inversor. Així el nombre màxim de mòduls en el ramal ve donat per l'expressió:

$$N_{m\grave{a}x} = \frac{U_{m\grave{a}x \text{ INV}}}{U_{OC}} \quad \text{Eq. 3}$$

On

- On $N_{m\grave{a}x}$ són el nombre màxim de lones connectades en sèrie
- $U_{m\grave{a}x \text{ INV}}$ ve donada pel fabricant de inversors
- U_{TC} el voltatge a la temperatura $T_c = -5^{\circ}\text{C}$

Per realitzar el càlcul de U_{OC} a una temperatura de -5°C , es seguirà a la següent equació:

$$U_{OC} = U_{-5^{\circ}\text{C}} = \left(1 + (25 - T_c) \cdot \frac{\Delta U}{100}\right) \cdot U_{OC} \quad \text{Eq. 4}$$

Amb els valors de la Imatge 16 i substituint-los a l'Eq.4, obtenim:

$$U_{OC} = U_{-5^{\circ}\text{C}} = \left(1 + (25 + 5) \cdot \frac{0,38}{100}\right) \cdot 79,5 = 88,56 \text{ V}$$

Recuperant a l'Eq. 3 i substituint valors s'obté:

$$N_{m\grave{a}x} = \frac{1000}{88,56} = 11 \text{ lones}$$

En aquest cas el valor màxim de tensió dels inversors són els mateixos pels 3 models.

De manera que com que el nombre màxim de lones fotovoltaïques connectades en sèrie és més restrictiu que el nombre mínim, s'arriba a la conclusió que el connexionat en sèrie de cada ramal serà de 11 lones per tal de no tenir problemes amb la tensió mínima d'engegada dels diferents inversors.

4.4.4. Nombre de ramals

Es determina com el quocient entre la potència pic de la instal·lació fotovoltaica de cada zona $P_{P\text{ zona}}$, establerta segons el càlculs a la Imatge 14, i la potència pic d'un ramal $P_{P\text{ ramal}}$. Ara doncs com que fent les connexions amb paral·lel estem variant les intensitats, es treballarà amb les dades de intensitats de les Imatges 17 i 18.

Per aquest projecte, tal i com es mostra amb la Imatge 16, també cal tenir en compte que a cada zona hi ha una distribució d'inversors diferent ja que la potència instal·lada també varia de manera que els ramals que van connectats a cada inversor variaran.

Per procedir amb els càlculs del nombre de ramals de cada zona i a cada inversor s'utilitzaran les següents equacions:

$$N_{ramals\text{ zona }x} = \frac{P_{P\text{ zona }x}}{P_{P\text{ ramal}}} = \frac{P_{P\text{ zona }x}}{I_{MP} \cdot V_{MP} \cdot N_{màx}} \quad \text{Eq. 5}$$

On:

- On $N_{ramals\text{ zona }x}$ són el nombre de ramals connectades en paral·lel
- $P_{P\text{ zona }x}$ és la potència instal·lada a cada zona
- $P_{P\text{ ramal}}$ és la potència de cada ramal

Substituint valors a l'equació anterior obtenim els següents nombres de ramals per a cada zona:

$$N_{ramals\text{ zona }1} = \frac{32,01\text{ kW} \cdot 1000}{5 \cdot 58,2 \cdot 11} = 10\text{ ramals}$$

$$N_{ramals\text{ zona }2} = \frac{27,94\text{ kW} \cdot 1000}{5 \cdot 58,2 \cdot 11} = 9\text{ ramals}$$

$$N_{ramals\text{ zona }3} = \frac{70,71\text{ kW} \cdot 1000}{5 \cdot 58,2 \cdot 11} = 22\text{ ramals}$$

Gràcies als càlculs dels ramals, es veu que efectivament com a cada zona hi ha una instal·lació de ramals diferents atenent a les seves necessitats tècniques.

Llavors s'ha de comprovar que a cada inversor de les diferents zones sempre es compleixi que la suma de la intensitat de curt circuit dels ramals, que van connectats a cada inversor, a de ser inferior a la intensitat màxima admissible de l'inversor. De manera que ens determinaran quants ramals van a cada inversor. Com que la intensitat, contràriament a la tensió, augmenta amb la temperatura, suposarem una temperatura de

cèl·lula de 60 °C, per tenir un disseny més conservador:

$$N_{ramals} \cdot I_{CC \text{ ramal}} \leq I_{m\grave{a}x \text{ INV}} \quad \text{Eq. 6}$$

$$I_{CC \text{ ramal } 60^{\circ}C} = \left(1 + (T_c - 25) \cdot \frac{\Delta I}{100}\right) \cdot I_{CC \text{ lona fotovoltaica}} \quad \text{Eq. 7}$$

Posant valors a la formula anterior obtenim una intensitat de curt circuit a una temperatura de 60 °C per a cada ramal de:

$$I_{CC \text{ ramal } 60^{\circ}C} = \left(1 + (60 - 25) \cdot \frac{0,1}{100}\right) \cdot 6,35 = 6,57 \text{ A}$$

Ara aplicant l'Eq. 6 s'obtindrà quants ramals es connectaran a cada inversor per tal de que quedi una instal·lació el màxim d'equilibrada i robusta. De manera que cada zona queda distribuïda de la següent manera:

	Model Inversors	Unitats Inversors	Potència Nominal	Ramals
Zona 1	Sunny Tripower 20000TL	1	30	7
	Sunny Tripower 10000TL	1		3
Zona 2	Sunny Tripower 15000TL	1	25	6
	Sunny Tripower 10000TL	1		3
Zona 3	Sunny Tripower 20000TL	3	70	19
	Sunny Tripower 10000TL	1		3

Imatge 19. Distribució dels ramals per a cada zona i inversor

Com a conclusió d'aquest apartat es pot dir que com que les zones no són iguals en quant a potència instal·lada i a distribució dels inversors, ha calgut fer un càlcul més precís en quan els ramals per tal de veure com queda instal·lada la connexió de les lones fotovoltaïques amb els inversors. Comentar també que gràcies a la flexibilitat que ens ofereixen a l'actualitat els inversors, es poden connectar ramals més petits, ja que la tensió mínima d'engegada és inferior. En aquest projecte per a la zona 2 ha calgut connectar un ramal de 8 lones fotovoltaïques en sèrie en el Sunny Tripower 10000 TL.

4.5. Bateries

Per a aquest treball, juntament amb el director del projecte, hem arribat a la conclusió que farem un petit anàlisi del que suposaria instal·lar les bateries a nivell tècnic i econòmic però sense entrar massa en detall, ja que a sobre la taula hi ha la possibilitat d'obtenir bateries de segona vida, que ens les proporcionaria una empresa tercera que està disposada a col·laborar amb el projecte, de manera que el cost de la instal·lació es veuria notablement reduït. Serien bateries estacionaries que han estat en bancs de proves i el seu funcionament ha sigut força puntual de manera que encara menten una bona qualitat per ser reutilitzades.

Per poder cobrir la demanda energètica, independentment de la generació instantània, són necessaris els acumuladors d'electricitat. Han d'estar ben dimensionats per tenir prou capacitat per al subministrament en períodes de núvols. El nombre de dies per als quals poden subministrar l'energia emmagatzemada sense tenir generació s'anomena autonomia de la instal·lació.

El seu funcionament interior es basa en reaccions químiques reversibles, són, per tant, sistemes electroquímics.

Els acumuladors, en general, poden ser de tres tipus: estacionaris, d'arrencada i de tracció. En el cas de les instal·lacions fotovoltaïques, cal utilitzar els acumuladors estacionaris. Aquest tipus d'acumuladors s'ubiquen en un lloc fix i proporcionen corrent elèctric permanentment o esporàdica, però no se'ls requereix intensitats elevades en temps curts.

Els paràmetres d'un acumulador d'energia elèctrica són els següents:

Capacitat: és la màxima electricitat emmagatzemada. S'ha de tenir en compte que, per no danyar la bateria i per allargar la seva vida, la bateria té una capacitat útil inferior a la seva capacitat total, entre un 30% i un 90% d'aquesta. Les unitats de la capacitat d'una bateria són els Ampers hora (Ah). El temps de descàrrega es representa amb la notació C5, C25, C100, etc... (el nombre són les hores que tarda en descarregar).

Profunditat de descàrrega: és el percentatge del total de la capacitat d'energia que es pot extreure un cop emmagatzemada.

Vida útil: és el nombre total de cicles complets (càrrega-descàrrega) que pot fer una bateria funcionant correctament i amb un bon manteniment. Es considera que, com a mínim, duren 10 anys.

Autodescàrrega: és el procés de descàrrega lenta i continuada que té tot acumulador

encara que no estigui connectat a cap circuit.

6.3.1. Capacitat de l'acumulador

El dimensionat de les bateries dependrà de l'energia necessària pel consum i dels dies d'autonomia que es vol donar a la instal·lació. En el cas d'una instal·lació rural d'ús diari amb grup electrogen de suport es calcula la capacitat de les bateries per aconseguir 3 dies d'autonomia. En el cas del projecte, en que cada vegada és més crític deixar el circuit sense electricitat un petit instant de temps, considerem que l'autonomia haurà de ser de 5 dies. Som conscients del sobrecost que comporta aquesta decisió però com s'ha dit anteriorment s'està plantejant l'opció d'utilitzar bateries de segona vida per tal d'abaratir el cost.

De totes maneres per tal de realitzar el càlcul per tenir un ordre de magnitud de la capacitat de les bateries i quantes unitats en farien falta es realitzen els càlculs amb bateries que podem trobar al mercat.

L'expressió per calcular la capacitat és:

$$\text{Capacitat de la bateria} = \frac{\text{Energia necessària} \cdot \text{dies d'autonomia}}{\text{Voltatge} \cdot \text{Profunditat de descàrrega de la bateria}} \quad \text{Eq. 8}$$

Com a energia necessària diària s'ha calculat la mitjana de la demanda, és a dir, 400 kWh/dia.

El voltatge ha de ser el que correspongui per al correcte acoblament amb el voltatge dels mòduls fotovoltaics i del gestor energètic, 48 V en el cas d'aquest projecte.

La profunditat de descàrrega depèn del tipus de bateria que, en el cas de ser acumuladors estacionaris, és entre un 50% i un 80%. S'ha decidit utilitzar bateries de plom àcid ja que són més econòmiques i, per la magnitud de la instal·lació, no compensa incrementar més el pressupost. Així doncs, la profunditat de descàrrega és del 60%, com és propi de les bateries de plom àcid.

Es calcula amb l'Eq. 8 la capacitat que han de tenir les bateries segons l'autonomia que es demana a la instal·lació i en resulta que per 5 dies d'autonomia es necessita una capacitat de les bateries de 79.861 Ah.

Així doncs per arribar a suplir la capacitat de les bateries amb el model Classic OPzS Solar 3100 Ah, es requeriran 26 branques en paral·lel i com que cada vas de la bateria és de 2V i necessitem obtenir 24V per les lones, cada paral·lel haurà d'estar connectat amb 12 cel·les en sèrie. De manera que surten un total de 312 bateries.

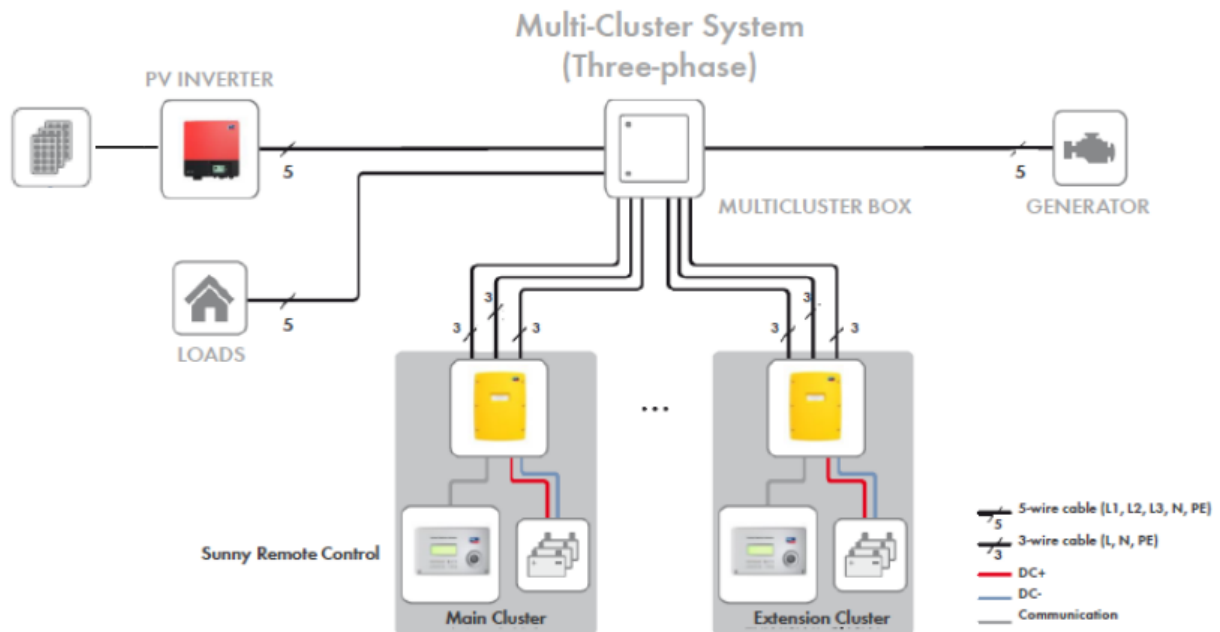
4.6. Grup electrogen

El grup electrogen és necessari per subministrar l'electricitat quan no hi ha producció fotovoltaica i per qualsevol instant en que les bateries no estiguin en funcionament. S'ha de dimensionar, per tant, de tal manera que cobreixi el 100% de la demanda energètica segons la potència simultània màxima.

Una instal·lació fotovoltaica té l'inconvenient que es pot quedar sense producció elèctrica si no fa sol durant diversos dies. Si aquest fos el cas, igualment hauria d'assegurar-se el subministrament, el que s'anomena quedar-se en mode d'emergència. És per això que el dimensionat del grup electrogen ha de ser de potència igual a la simultània.

El Parcmotor compta actualment amb dos grups electrògens, un dels quals té potència 150 kW. Com que aquesta potència és major que la simultània, aquest equip es podrà seguir utilitzant connectant-lo a la instal·lació fotovoltaica, la qual cosa farà que no s'hagi d'invertir en un de nou.

4.7. Esquema de la instal·lació fotovoltaica



Imatge 20. Esquema intern de la instal·lació fotovoltaica.

En aquest esquema es pot veure el funcionament conceptual de la instal·lació fotovoltaica. Els sistemes autònoms de generació d'energia necessiten el gestor energètic que controla els fluxos d'energia. Aquest aporta l'electricitat per al consum segons la demanda que es tingui i emmagatzema la restant. Si la producció no és suficient, extreu l'electricitat de les bateries i, si no n'hi ha d'emmagatzemada, fa arrencar el grup electrogen. El gestor energètic controla que les bateries mai no treballin per sobre de la seva capacitat i que tinguin els mínims cicles (càrrega - descàrrega) per allargar la seva vida útil en el temps.

5. RESULTATS ENERGÈTICS

Tot i que el nucli principal d'aquest projecte és fer l'estudi d'una aplicació fotovoltaica utilitzant la tecnologia de capa fina de sílice amorf, no hem volgut perdre l'oportunitat d'estudiar varies alternatives de tecnologia fotovoltaica més eficients però menys econòmiques i veure una comparativa clara a nivell de producció.

Per un costat farem els càlculs de producció d'energia amb 3 productes diferents. Seguint amb l'essència del projecte, primer de tot farem els càlculs amb lones fotovoltaïques de sílice amorf on la seva eficiència és del 8%. Tot seguit ho compararem amb lones fotovoltaïques de sílice policristal·lí que tenen un rendiment del 13% i per acabar amb lones monocristal·lines que tenen una eficiència del 16%.

Per l'altre costat, com que el circuit està en constant desenvolupament pel que fa la seva activitat, suposarem varis escenaris en quan el consum energètic del circuit. Es començarà suposant el consum real del 2018 i tot seguit s'augmentarà un 50% pel 2020 i finalment un 100% per al 2030. Comentar que a la realitat es preveu un augment molt notable del consum elèctric en els pròxims anys del circuit, ja que cada vegada resulta un espai més atractiu per certes marques d'automòbils.

Tenir present que l'activitat principal del circuit es durà a terme mentre hi hagi hores de sol, de manera que el consum nocturn serà mínim ja que pràcticament no es durà a terme cap activitat. Aquest fet fa que la tecnologia fotovoltaica en aquest projecte sigui molt útil ja que s'adapta perfectament a les seves capacitats.

Abans de profunditzar amb les alternatives, cal tenir present el consum elèctric del Parcmotor de Castellolí que és independent de l'alternativa que escollim. El consum s'ha extret a partir de les factures emeses per la comercialitzadora durant el 2018 (el desembre s'ha calculat el seu consum a partir dels històrics), també s'ha tingut en compte el consum de combustible dels grups electrògens per tenir el total de la demanda elèctrica. A través del fabricant del grup hem obtingut que el consum de cada litre de combustible proporciona 3 kWh elèctrics pel circuit, de manera que hem obtingut la següent taula:

Mesos	Consum de la Xarxa [kWh]	Grup electrogen [kWh]	Consum total [kWh]
Gener	3.558	3.285	6.843
Febrer	2.774	8.994	11.768
Març	3.719	8.919	12.638
Abril	2.851	20.412	23.263
Maig	2.501	12.297	14.798
Juny	3.487	4.431	7.918
Juliol	3.050	6.372	9.422
Agost	2.020	828	2.848
Setembre	2.731	5.403	8.134
Octubre	3.361	10.194	13.555
Novembre	3.571	5.712	9.283
Desembre	5.016	5.556	10.572

Imatge 21. Consums elèctrics del circuit Parcmotor del 2018

A través de la Imatge 21. S'obté que el consum elèctric total del circuit, tenint en compte el consum de la xarxa i el consum de combustible del grup electrogen en el 2018, ha estat de 131.042 kWh.

Tal i com s'ha comentat anteriorment en aquest projecte, anem a fer els supòsit que la previsió del consum elèctric del circuit pels pròxims anys augmenta de forma considerable de manera que:

Mesos	Consum 2018 [kWh]	Consum 2020 [kWh]	Consum 2030 [kWh]
Gener	6.843	10.265	13.686
Febrer	11.768	17.652	23.536
Març	12.638	18.957	25.276
Abril	23.263	34.895	46.526
Maig	14.798	22.197	29.596
Juny	7.918	11.877	15.836
Juliol	9.422	14.133	18.844
Agost	2.848	4.272	5.696
Setembre	8.134	12.201	16.268
Octubre	13.555	20.333	27.110
Novembre	9.283	13.925	18.566
Desembre	10.572	15.858	21.144
Total any	131.042	196.563	262.084

Imatge 22. Consum elèctric del circuit en l'horitzó 2025

A través de les hipòtesis de consum fins el 2030, farem la comparativa amb la producció de les diferents tecnologies utilitzades per les lones fotovoltaïques. Això ens farà veure si alguna tecnologia queda obsoleta pel consum del circuit i si cal replantejar ampliar la instal·lació fotovoltaica mitjançant més zones del circuit.

5.1. Càlcul de l'energia produïda.

Per realitzar els càlculs pertinents de l'energia que ens pot subministrar el parc fotovoltaic instal·lat al circuit de Castellolí, s'ha fet a través de dos camins.

En un primer lloc, s'ha fet mitjançant la radiació (kWh/m^2) que té la població de Castellolí a una superfície amb una inclinació de 0° . En segon lloc, s'ha realitzat a través de les hores equivalents que se li assignen a la població de Castellolí amb la mateixa inclinació.

Totes aquestes dades han estat extretes de l'ICAEN (Institut Català d'Energia), a través del seu Atles de radiació solar a Catalunya i de l'Atles de hores equivalents de cada regió. Es procedeix a fer el càlcul de l'energia produïda del camp fotovoltaic a través de la de dada de la radiació:

RADIACIÓ Orientació: 0º [MJ/m2/dia]													
Inclinació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
0º	6,34	9,35	13,78	18,64	22,48	24,29	23,56	20,44	15,86	11,02	7,22	5,50	14,90
5º	7,16	10,23	14,62	19,26	22,83	24,49	23,83	20,96	16,66	11,91	8,07	6,28	15,55
10º	7,95	11,06	15,38	19,79	23,05	24,53	23,95	21,36	17,35	12,73	8,89	7,02	16,11
15º	8,69	11,82	16,05	20,21	23,12	24,42	23,92	21,64	17,94	13,48	9,65	7,72	16,58
20º	9,37	12,50	16,62	20,50	23,05	24,17	23,75	21,82	18,43	14,15	10,35	8,38	16,94
25º	10,00	13,11	17,09	20,67	22,90	23,77	23,47	21,87	18,80	14,72	10,99	8,98	17,22
30º	10,57	13,64	17,46	20,71	22,62	23,32	23,09	21,79	19,05	15,21	11,56	9,53	17,40
35º	11,07	14,09	17,71	20,63	22,21	22,73	22,58	21,57	19,18	15,60	12,06	10,02	17,47
40º	11,50	14,44	17,86	20,42	21,66	22,00	21,93	21,22	19,20	15,89	12,48	10,44	17,43
45º	11,86	14,71	17,90	20,08	20,98	21,14	21,15	20,74	19,10	16,09	12,82	10,80	17,29
50º	12,13	14,88	17,82	19,62	20,18	20,15	20,24	20,13	18,88	16,18	13,08	11,08	17,04
55º	12,33	14,95	17,64	19,05	19,25	19,05	19,21	19,40	18,54	16,17	13,26	11,29	16,68
60º	12,45	14,93	17,34	18,36	18,21	17,86	18,07	18,56	18,09	16,06	13,34	11,43	16,23
65º	12,49	14,82	16,94	17,56	17,11	16,67	16,93	17,61	17,53	15,84	13,34	11,50	15,70
70º	12,45	14,61	16,43	16,66	15,97	15,38	15,70	16,55	16,87	15,53	13,26	11,49	15,07
75º	12,32	14,31	15,83	15,66	14,73	14,01	14,38	15,47	16,10	15,12	13,09	11,40	14,37
80º	12,12	13,92	15,13	14,59	13,42	12,57	12,99	14,30	15,24	14,61	12,83	11,24	13,57
85º	11,83	13,44	14,34	13,47	12,04	11,12	11,54	13,05	14,29	14,02	12,49	11,01	12,71
90º	11,47	12,87	13,46	12,28	10,61	9,74	10,15	11,74	13,25	13,34	12,07	10,71	11,80

Imatge 23. Taula de la radiació a Castellolí per a diferents inclinacions

S'ha de tenir present que a la taula anterior, les dades estan en el sistema internacional però que per fer els càlculs pertinents cal aplicar els factors de conversió necessaris per tal d'obtenir la radiació en kWh/m² (recordar que 1MJ equival a 0,27 kWh) .

Aplicant doncs els factors de conversió correctament obtenim una radiació solar a 0º anual de 1.468 kWh/m² a la població de Castellolí. Aquesta és l'energia solar que incideix a cada m² del circuit de manera que les lones fotovoltaïques tenen un rendiment del 8% per tal de convertir aquesta energia solar en electricitat, obtenim que a cada m² es produeix 109,26 kWh d'electricitat al final de l'any. Ara doncs només cal multiplicar l'energia elèctrica produïda a cada m² pel total de la superfície ocupada per les lones i obtenim que al final de l'any obtindrem, de la instal·lació fotovoltaica, un total de 176.993 kWh.

Per tal de contrastar aquests resultats, procedim a realitzar els càlculs de l'energia elèctrica produïda a la instal·lació fotovoltaica a través de les hores equivalents de potència pic. Per fer-ho, ens recolzem de la taula proporcionada per l'ICAEN on es representen les hores equivalents per a cada inclinació.

RADIACIÓ Orientació: 0° [HSP/dia]													
Inclinació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
0°	1,71	2,52	3,72	5,03	6,07	6,56	6,36	5,52	4,28	2,98	1,95	1,49	4,02
5°	1,93	2,76	3,95	5,20	6,16	6,61	6,43	5,66	4,50	3,22	2,18	1,70	4,20
10°	2,15	2,99	4,15	5,34	6,22	6,62	6,47	5,77	4,68	3,44	2,40	1,90	4,35
15°	2,35	3,19	4,33	5,46	6,24	6,59	6,46	5,84	4,84	3,64	2,61	2,08	4,48
20°	2,53	3,38	4,49	5,54	6,22	6,53	6,41	5,89	4,98	3,82	2,79	2,26	4,57
25°	2,70	3,54	4,61	5,58	6,18	6,42	6,34	5,90	5,08	3,97	2,97	2,42	4,65
30°	2,85	3,68	4,71	5,59	6,11	6,30	6,23	5,88	5,14	4,11	3,12	2,57	4,70
35°	2,99	3,80	4,78	5,57	6,00	6,14	6,10	5,82	5,18	4,21	3,26	2,71	4,72
40°	3,11	3,90	4,82	5,51	5,85	5,94	5,92	5,73	5,18	4,29	3,37	2,82	4,71
45°	3,20	3,97	4,83	5,42	5,66	5,71	5,71	5,60	5,16	4,34	3,46	2,92	4,67
50°	3,28	4,02	4,81	5,30	5,45	5,44	5,46	5,44	5,10	4,37	3,53	2,99	4,60
55°	3,33	4,04	4,76	5,14	5,20	5,14	5,19	5,24	5,01	4,37	3,58	3,05	4,50
60°	3,36	4,03	4,68	4,96	4,92	4,82	4,88	5,01	4,88	4,34	3,60	3,09	4,38
65°	3,37	4,00	4,57	4,74	4,62	4,50	4,57	4,75	4,73	4,28	3,60	3,11	4,24
70°	3,36	3,94	4,44	4,50	4,31	4,15	4,24	4,47	4,55	4,19	3,58	3,10	4,07
75°	3,33	3,86	4,27	4,23	3,98	3,78	3,88	4,18	4,35	4,08	3,53	3,08	3,88
80°	3,27	3,76	4,09	3,94	3,62	3,39	3,51	3,86	4,11	3,94	3,46	3,03	3,66
85°	3,19	3,63	3,87	3,64	3,25	3,00	3,12	3,52	3,86	3,79	3,37	2,97	3,43
90°	3,10	3,47	3,63	3,32	2,86	2,63	2,74	3,17	3,58	3,60	3,26	2,89	3,19

Imatge 24. Taula de les hores equivalents a Castellolí

Així doncs ens fixem amb la primera fila que fa referència a una inclinació de 0° i obtenim les hores equivalents anuals en què la instal·lació fotovoltaica treballarà amb potència pic. En el nostre cas és de 4,02 hores/dia de mitjana anual. De manera que a través de la potència pic de totes les lones fotovoltaïques (130.66 kWp) i les hores equivalents obtenim l'energia anual produïda és de 172.544 kWh/any.

Si comparem el càlcul de l'energia produïda realitzat per cada cas obtenim que a través de la radiació surt un resultat de 176.993 kWh/any i a través de les hores equivalents arribem a un resultat de 172.544 kWh/any. Per tal de fer-ho amb el cas més conservador escollim els càlculs realitzats a partir de les hores equivalents.

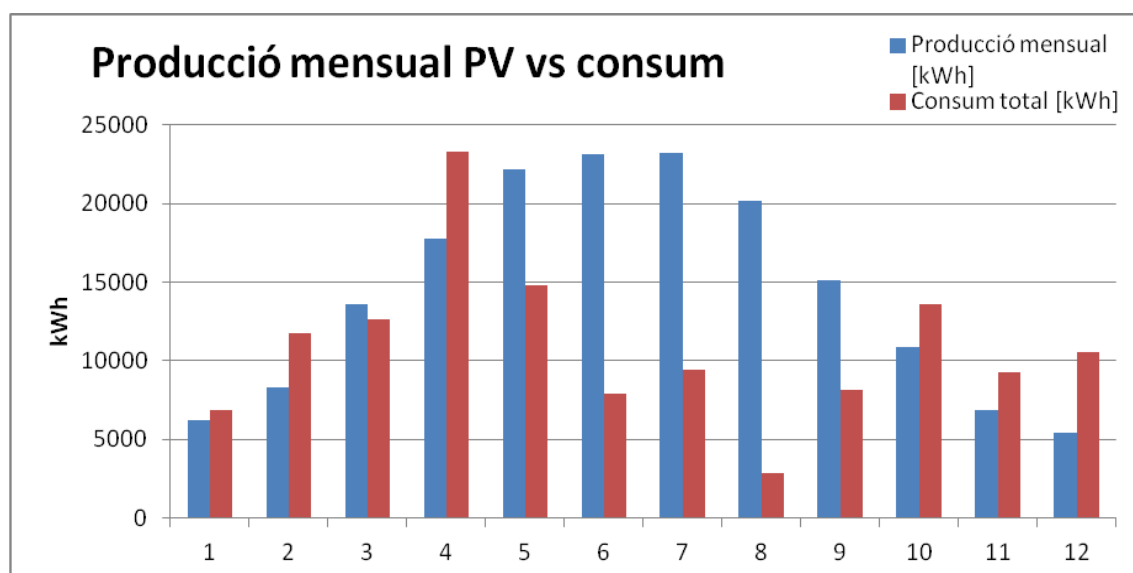
5.1.1. Alternativa 1A. Producció fotovoltaica 3 zones vs consum real

La alternativa 1A es basarà en fer una comparativa tenint com a demanda energètica el consum real del 2018 i veient com l'abastim, en un primer instant, amb les 3 zones del circuit pensades per ser utilitzades com a instal·lació fotovoltaica i llavors, en cas de que fos necessari, utilitzant les 5 zones (alternativa 1B). Per a aquesta alternativa s'utilitzarà el producte explicat en el present projecte, és a dir les lones fotovoltaïques de sílice amorf de l'empresa Sinoltech.

Mesos	Consum total [kWh]	Producció FV [kWh]	Diferència [kWh]
-------	--------------------	--------------------	------------------

Gener	6.843	6.926	-609
Febrer	11.768	9.219	-3471
Març	12.638	15.068	923
Abril	23.263	19.716	-5.518
Maig	14.798	24.586	7.329
Juny	7.918	25.714	15.224
Juliol	9.422	25.761	13.763
Agost	2.848	22.358	17.275
Setembre	8.134	16.777	6.965
Octubre	13.555	12.070	-2.692
Novembre	9.283	7.644	-2.404
Desembre	10.572	6.035	-5.140
Total	131.042	172.687	41.645

Imatge 25. Producció de les 3 zones i consum real per a l'alternativa 1A



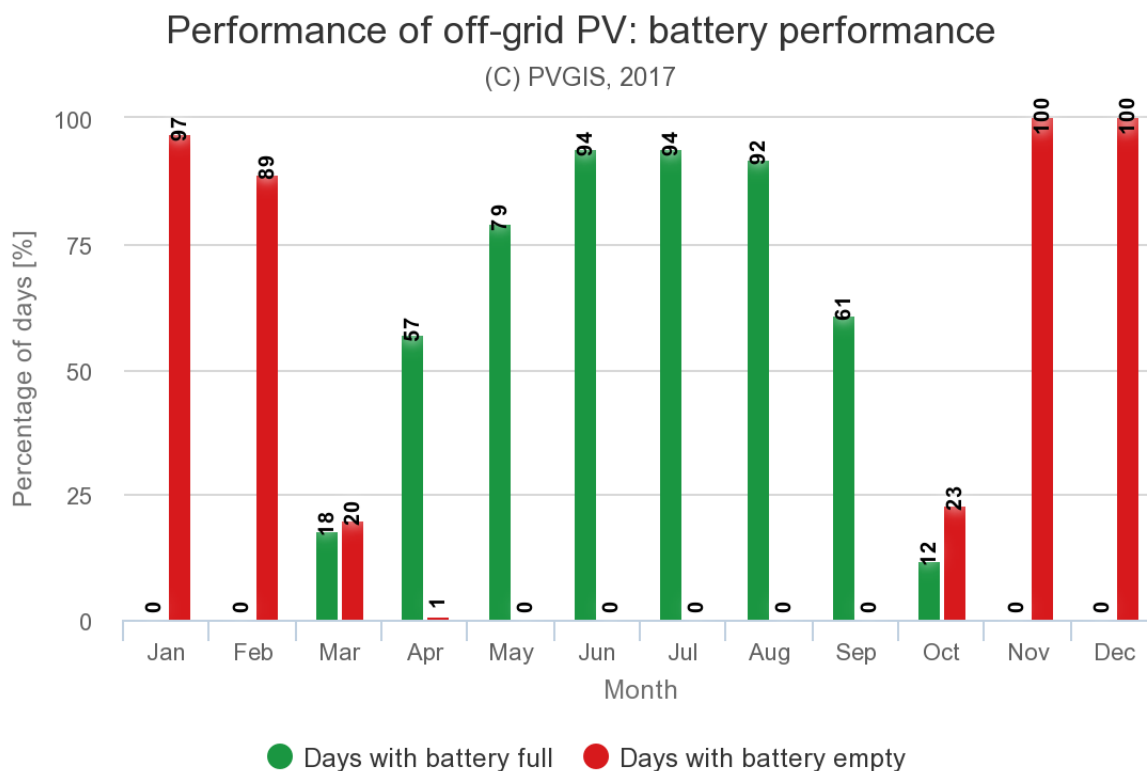
Imatge 26. Gràfic de la producció mensual de les lones i el consum del circuit

Veient les Imatges 25 i 26, podem afirmar que les bateries jugaran un paper fonamental en aquest projecte, ja que si es fes un autoconsum directe, és a dir sense bateries, veiem que hi ha mesos en què el consum és superior a la producció. Per tant les bateries han de ser capaces de proporcionar aquesta mancança. Per altre banda veiem que hi ha mesos en què tenim molts excedents cosa que part d'aquests els perdrem però la resta s'utilitzaran per carregar les bateries a plena càrrega.

Seguint aquesta alternativa proposada, es veu que hi haurà mesos, en què si es desconnecta el Parcmotor de la xarxa de distribució, haurà d'utilitzar el grup electrogen per tal de fer front a la seva demanda en certs moments de l'any, especialment durant el principi i el final de l'any on les bateries segurament no podran fer front a tota la demanda.

Tot seguit el programa gratuït PVGIS (photovoltaic geographical information system) ens permet fer una simulació d'una instal·lació d'autoconsum aïllat introduint les dades d'ubicació de la localitat de Castellolí, la potència instal·lada, del consum diari, la capacitat de les bateries, de la inclinació de les lones fotovoltaïques entre d'altres més secundaries de manera que ens fa un anàlisi de producció i de l'estat de les bateries per a cada mes.

Imatge 27. Portal on s'introdueixen les dades del projecte en el PVGIS



Imatge 28. Estat de les bateries durant l'any segons l'alternativa 1

En la Imatge 28, s'ha analitzat l'estat de les bateries segons les característiques del nostre projecte. Efectivament ens corrobora que amb aquestes condicions els dos primers i últims mesos de l'any la instal·lació haurà d'utilitzar el grup electrogen que hi ha en el circuit per satisfer amb la demanda energètica, ja que coincideixen amb els mesos de l'any on la demanda és superior a la producció i el excedents de l'estiu molts es perden i la resta ens serveixen per cobrir el mes d'octubre.

Aquest fet ens fa pensar que si només utilitzem aquestes 3 zones per realitzar la instal·lació fotovoltaica en els propers anys ens quedarà obsoleta ja que es preveu un augment considerat en els pròxims anys.

És per això que tot seguit es farà un estudi energètic utilitzant 5 zones del circuit com a generador fotovoltaic.

5.1.2. Alternativa 1B. Producció fotovoltaica 5 zones vs consum real

Per tal d'evitar aquest fet, es fa l'estudi energètic considerant que utilitzem les 5 zones del circuit explicades anteriorment enlloc de les 3 que en un principi s'havia pensat. Utilitzant el mateix procediment de càlcul que en les 3 zones, la instal·lació fotovoltaica passa a tenir una potència instal·lada de 256,37 kWp. A la següent taula es veurà amb més detall.

Zones	Superfície Útil [m ²]	Superfície ocupada [m ²]	Lones SNR36-291 [unitats]	Potència instal·lada [kWp]
Zona 1	520	505	110	32.01
Zona 2	462	440	96	27.93
Zona 3	1.188	1115	243	70.71
Zona 4	1.463	1362	294	85.55
Zona 5	720	633	138	40.16
Total	4.353	4.062	881	256.37

Imatge 29. Taula resum de les 5 zones del circuit

Al augmentar les zones del circuit es veu clarament com la potència instal·lada passa de 130.66 kWp a 256.37 kWp i s'utilitzen un total de 881 lones fotovoltaïques.

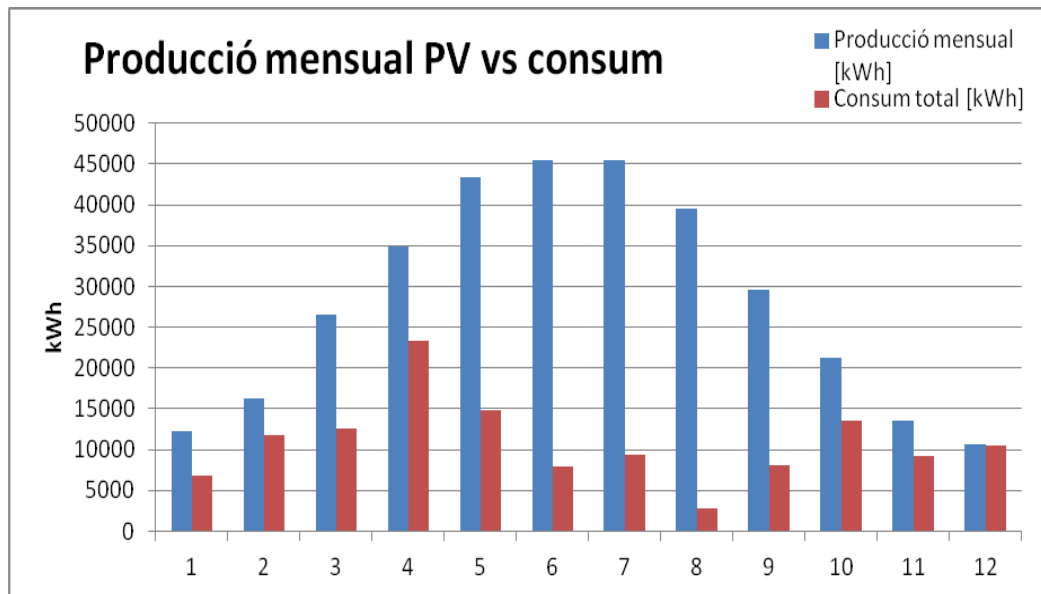
Ara doncs fem l'estudi energètic anual de la instal·lació fotovoltaica de la mateixa forma que ho hem fet a l'alternativa 1A, considerant la nova potència instal·lada i mantenint les mateixes hores equivalents, ja que la ubicació segueix essent la mateixa. D'aquesta forma s'obté una producció d'energia elèctrica anual de 338.835 kWh.

Tenint en compte aquesta producció anual i el consum real del 2018 del circuit podem realitzar la taula següent:

Mesos	Consum total [kWh]	Producció FV [kWh]	Diferència [kWh]
Gener	6.843	12.231	5.388
Febrer	11.768	16.281	4.513
Març	12.638	26.608	13.970
Abril	23.263	34.818	11.555
Maig	14.798	43.417	28.619
Juny	7.918	45.408	37.490
Juliol	9.422	45.491	36069
Agost	2.848	39.483	36635
Setembre	8.134	29.626	21492
Octubre	13.555	21.315	7760
Novembre	9.283	13.498	4215
Desembre	10.572	10.658	86
Total	131.042	338.835	207.793

Imatge 30. Producció de les 5 zones i consum real per a l'alternativa 1B

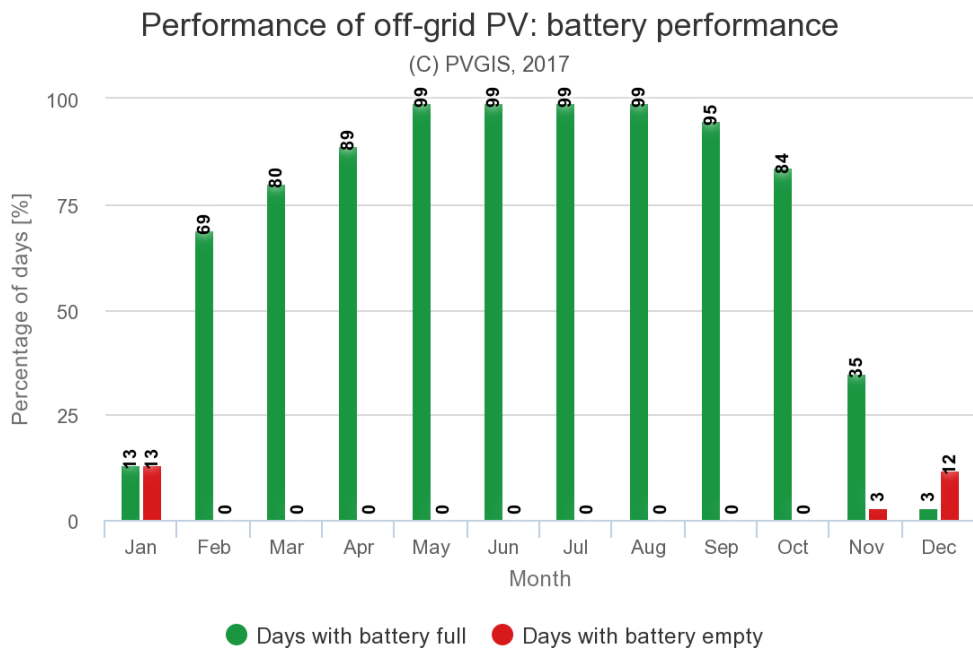
A simple vista podem veure com l'última columna de la Imatge 30, ha augmentat considerablement i no hi ha cap valor en negatiu. Això vol dir que cada mes estem produint més energia de la que consumeix el circuit. Fet que ens comportarà que tinguem les bateries a plena carrega pràcticament el 100% de tot l'any de manera que no s'haurà d'utilitzar el grup electrogen a no ser que tinguem alguna situació d'emergència com podria ser l'avaria d'un inversor o que es fongui algun fusible d'un string.



Imatge 31. Gràfic de la producció mensual de les lones i el consum del circuit

D'aquesta alternativa cal comentar que el fet de voler desconnectar-nos totalment de la xarxa fa que l'energia sobrant que no es pot emmagatzemar la perdem sense aconseguir cap tipus de balanç net o remuneració.

Tenint en compte aquestes condicions, es fa l'estudi de l'estat de les bateries amb el programa PVGIS i obtenim el següent anàlisi.



Imatge 32. Estat de les bateries amb l'alternativa 1B

Veiem doncs com l'estat de les bateries durant l'any és pràcticament de color verd, cosa que ens indica que les bateries es trobaran 100% a plena càrrega la majoria dels dies. Durant el mes de gener i desembre hi ha moments en que les bateries es trobaran sense càrrega i segurament caldrà utilitzar l'ajuda del grup electrogen de manera molt puntual.

Per tant podem concloure que si volem realitzar un autoconsum aïllat de la xarxa i utilitzar el mínim possible el grup electrogen per fer front al consum real del circuit, serà imprescindible utilitzar les 5 zones del circuit com a instal·lació fotovoltaica.

Tot seguit per tal de veure la durabilitat d'aquest projecte farem la comparativa de la producció fotovoltaica de la nostra instal·lació amb les lones fotovoltaiques de silici amorf amb la previsió del consum fins al 2030. D'aquesta alternativa 1C no en farem cap estudi econòmic, però sí que ens servirà per tenir una referència de la capacitat de la instal·lació fotovoltaica tenint en compte el consum previst pels propers anys.

5.1.3. Alternativa 1C. Producció fotovoltaica 5 zones vs consum 2020.

En aquesta alternativa deixarem constant la producció fotovoltaica del circuit utilitzant les 5 zones com a instal·lació fotovoltaica però variarem el consum del circuit, ja que com s'ha explicat anteriorment, es preveu un augment notable del consum per l'evolució de l'activitat del circuit.

Així doncs recuperant la Imatge 22 i la producció mensual de la instal·lació podrem fer l'estudi i concloure si quedarà obsoleta la instal·lació en els pròxims anys.

Per tal de poder precisar millor, fem un anàlisi de la producció de les 5 zones amb el consum previst pel 2020 i seguidament un altre amb el consum del 2030.

Es procedeix doncs a realitzar la taula per la hipòtesis 1C:

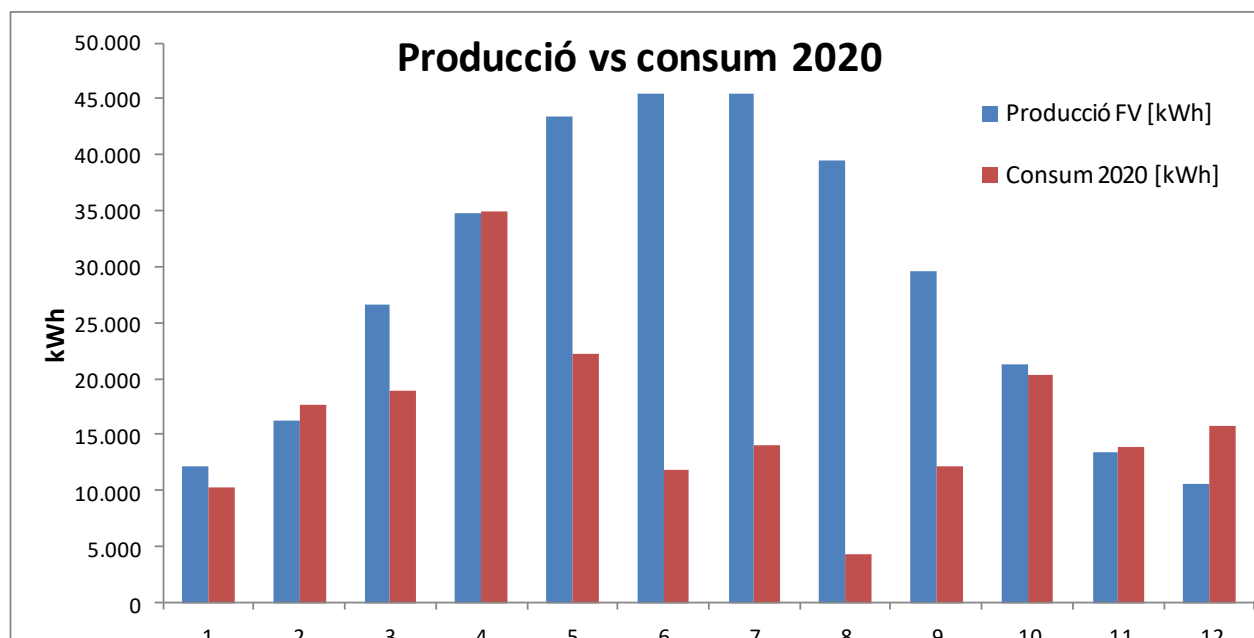
Mesos	Producció FV [kWh]	Consum 2020 [kWh]	Diferencia [kWh]
Gener	12.231	10.265	1.966
Febrer	16.281	17.652	-1.371
Març	26.608	18.957	7.651
Abril	34.818	34.895	-77
Maig	43.417	22.197	21.220
Juny	45.408	11.877	33.531
Juliol	45.491	14.133	31.358
Agost	39.483	4.272	35.211
Setembre	29.626	12.201	17.425
Octubre	21.315	20.333	982
Novembre	13.498	13.925	-427
Desembre	10.658	15.858	-5.200
Total	338.835	196.563	142.272

Imatge 33. Taula de la producció de la instal·lació amb el consum previst pel 2020.

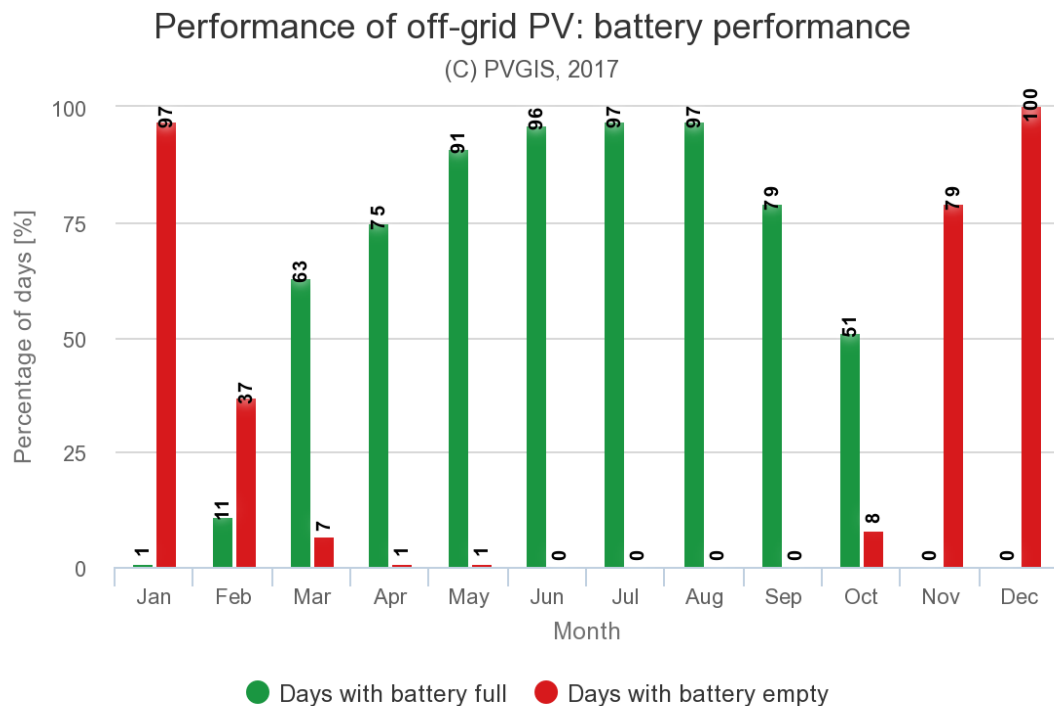
A través de les imatges 33 i 34 tornem a veure que hi haurà mesos de l'any en que la producció fotovoltaica no serà suficient per satisfer amb la demanda del circuit de manera que necessitarem utilitzar el grup electrogen ja no de forma puntual, sinó que serà una ajuda força constant durant el principi i a finals de l'any.

Tot seguit es visualitzarà la taula anterior a través d'un gràfic de barres, ja que ha simple vista ens ajudarà a interpretar millor el seguiment anual del 2020 en quant a consum i producció d'electricitat.

Imatge 34. Gràfica de la producció fotovoltaica vs el consum 2020.



Per acabar amb aquest anàlisi, es farà el seguiment de les bateries per veure més clarament en quins moments de l'any anirem curts de producció i necessitarem abastir-nos a través de les lones fotovoltaïques i el grup electrogen.



Imatge 35. Estat de les bateries anual suposant el consum del 2020.

A través de la imatge 35 es pot veure, que tot i que en el primer mes de l'any la producció és superior a la demanda, tindrem les bateries descarregades un 97% dels dies del mes. Això és degut fonamentalment al següent motiu; La versió gratuïta del software de càlcul no et permet introduir un consum diferent per a cada mes de l'any, de manera que s'ha de suposar que cada dia es consumeix la mateixa energia. De manera que cal tenir present que aquest resultat no és del tot real per al nostre projecte però sí una bona aproximació, ja que el consum mensual del circuit, tal i com hem pogut observar, és molt variat d'un mes a un altre.

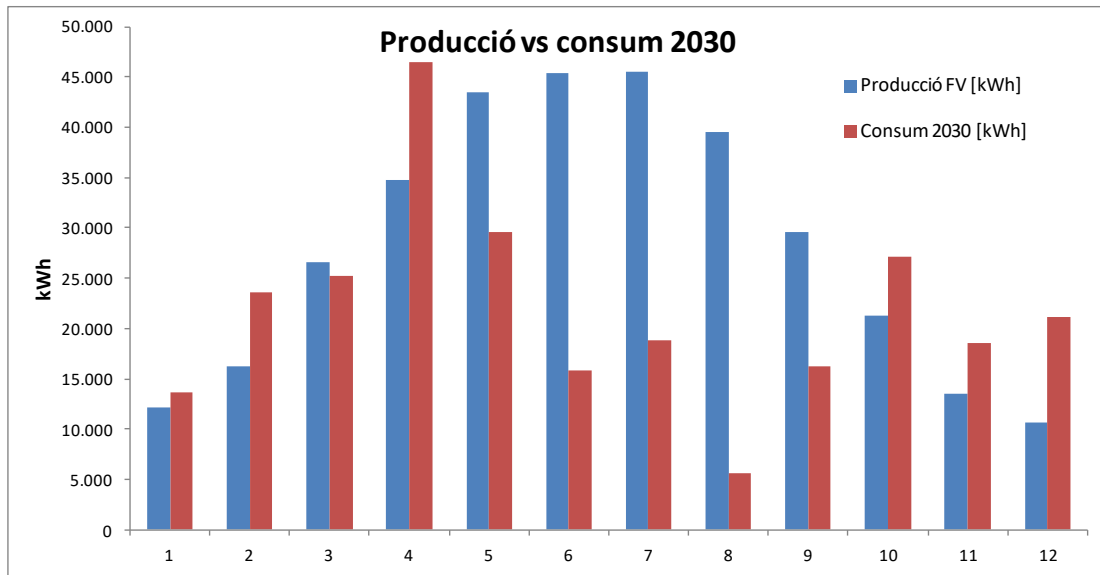
5.1.4. Alternativa 1D. Producció fotovoltaica 5 zones vs consum 2030.

Per acabar amb l'alternativa 1, fem un estudi considerant que el consum al 2030 és el doble de l'actual i quina cobertura tindríem utilitzant el producte emprat per a aquest projecte.

Mesos	Producció FV [kWh]	Consum 2030 [kWh]	Diferencia [kWh]
Gener	12.231	13.686	-1.455
Febrer	16.281	23.536	-7.255
Març	26.608	25.276	1.332
Abril	34.818	46.526	-11.708
Maig	43.417	29.596	13.821
Juny	45.408	15.836	29.572
Juliol	45.491	18.844	26.647
Agost	39.483	5.696	33.787
Setembre	29.626	16.268	13.358
Octubre	21.315	27.110	-5.795
Novembre	13.498	18.566	-5.068
Desembre	10.658	21.144	-10.486
Total	338.835	262.084	76.751

Imatge 36. Taula de la producció FV amb el consum del 2030.

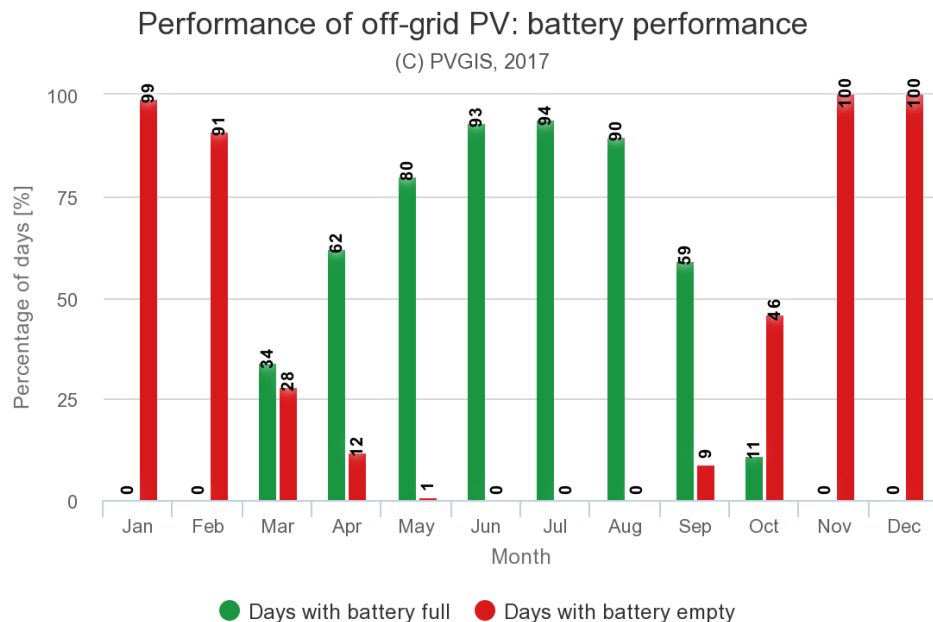
Tot i observar que l'energia produïda és 76.751 kWh superior a la consumida en el 2030, hi ha molts mesos en que el consum no el podem abastir únicament a través de les lones fotovoltaïques. La gràfica següent ens ajudarà a visualitzar-ho.



Imatge 37. Gràfica de la Producció vs el consum del 2030.

A través de l'estat de les bateries que ens indica la següent imatge, podem afirmar que pel 2030, hi haurà mesos que cada dia necessitarem l'ajuda del grup electrogen per poder donar cobertura al consum del circuit.

Això ens fa veure, que per realitzar una instal·lació d'auto abastiment aïllada haurem d'utilitzar unes lones fotovoltaïques més eficients, que és el que es plasmarà en l'alternativa 2 i 3 que tot seguit es realitzarà.




Imatge 38. Estat de les bateries durant el 2030.

5.1.5. Alternativa 2. Producció amb les lones fotovoltaïques policristal·lines vs consum del 2030.

Per a aquesta alternativa, s'utilitzaran lones fotovoltaïques policristal·lines fabricades per l'empresa catalana, de Granollers, anomenada Nousol. És el primer any en que Nousol es posa a comercialitzar lones fotovoltaïques flexibles, fins ara només tenia panells fotovoltaïcs rígids.

Durant les negociacions amb aquesta empresa varem obtenir uns preus de 0,8 €/Wp, superior al preu de les lones fotovoltaïques utilitzades per aquest projecte de l'empresa Sinoltech. Aquest augment del preu es deu a que les lones tenen una major riquesa en quant a sílice a les seves cèl·lules fotovoltaïques, que significa un augment de la seva eficiència. Mentre que les lones de A-Si tenen una eficiència del 8%, aquestes arriben a un 13%.

La fitxa tècnica i la taula de preus, aportades pel fabricant, per a aquest producte aniran adjunts a l'annex del propi projecte. Ara simplement es farà una breu descripció de les característiques més importants.

Fitxa tècnica	NSL160M-FLEX	
Potència màxima (Pmax)	160 Wp	
Eficiència	13%	
Longitud	1520 mm	
Amplada	665 mm	
Superfície	1,01 m ²	

Imatge 39. Informació tècnica del producte Nousol

Podem veure clarament com la superfície de cada lona fotovoltaïca, al ser més eficients, són molt inferiors a la que ocupaven les lones de sílice amorf. També hem de tenir present que aquest producte té una potència màxima força inferior al producte escollit pel treball.

Abans d'entrar a fer la comparativa, es mostrarà com queda distribuïdes les zones amb aquest nou producte i quines són les potències instal·lades a cada zona del circuit.

Zones	Superfície Útil [m ²]	Superfície ocupada [m ²]	Lones NSL160M-FLEX [unitats]	Potència instal·lada [kWp]
Zona 1	520	516	510	81,60
Zona 2	462	437	432	69,12
Zona 3	1.188	1.405	721	112,336
Zona 4	1.463	1.116	1.104	176,64
Zona 5	720	710	702	112,32
Total	4.353	4.182	3.469	552,02

Imatge 40. Distribució de les lones fotovoltaïques i potència instal·lada.

Així doncs veiem, a primer cop d'ull, que augmenta molt les unitats utilitzades per cobrir el camp fotovoltaic, ja que la potència unitària i les dimensions són molt inferiors al producte de Sinoltech. No obstant, amb aquest producte, tal i com era d'esperar, aconseguim una potència instal·lada superior que en l'altre cas.

Això és degut a que la potència específica de cada lona 132 W/m^2 és més del doble a la del producte anterior que era de 63 W/m^2 . Aquesta dada és molt important, ja que per a cada unitat de superfície obtenim una major potència instal·lada, de manera que augmentem el rendiment de la nostra superfície.

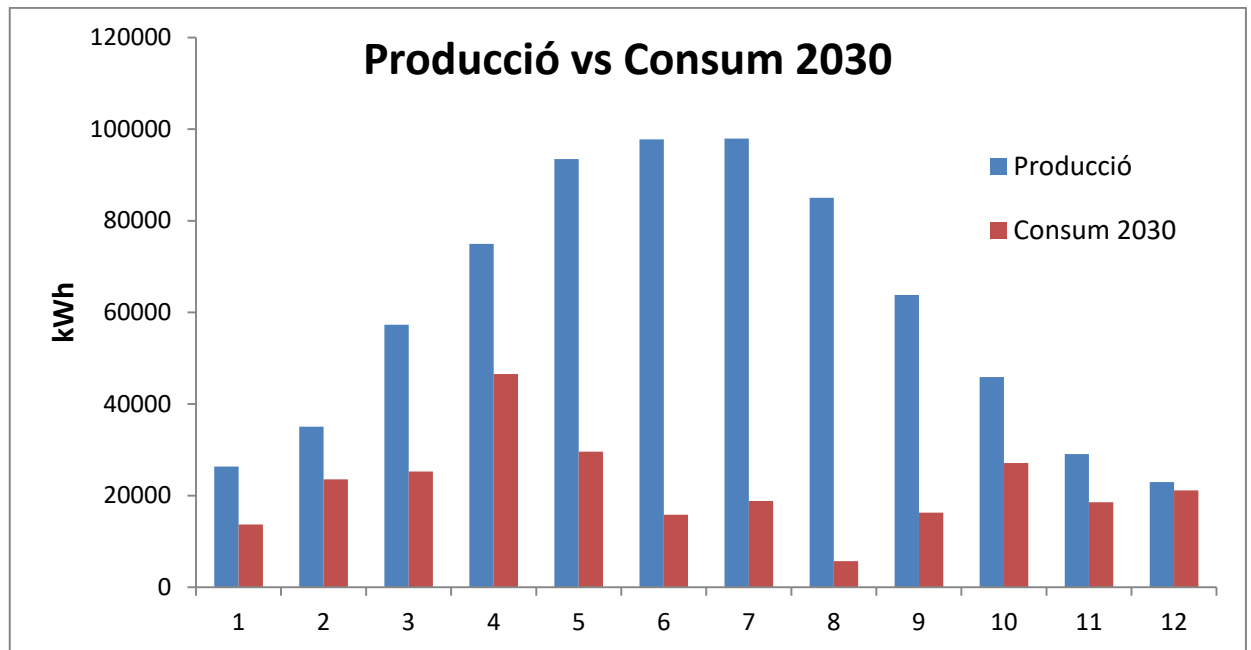
Comentar que en la majoria de instal·lacions fotovoltaïques d'autoconsum domèstic, aquesta és una dada fonamental pels instal·ladors, ja que la superfície útil de les teulades sol ser una variable limitant, de manera que s'ha de treure el màxim rendiment.

Tot seguit es farà una comparativa directa instal·lant aquest nou producte en les 5 zones del projecte i per altra banda tindrem el consum del circuit previst pel 2030, que és justament on escassejaven les lones de l'alternativa anterior.

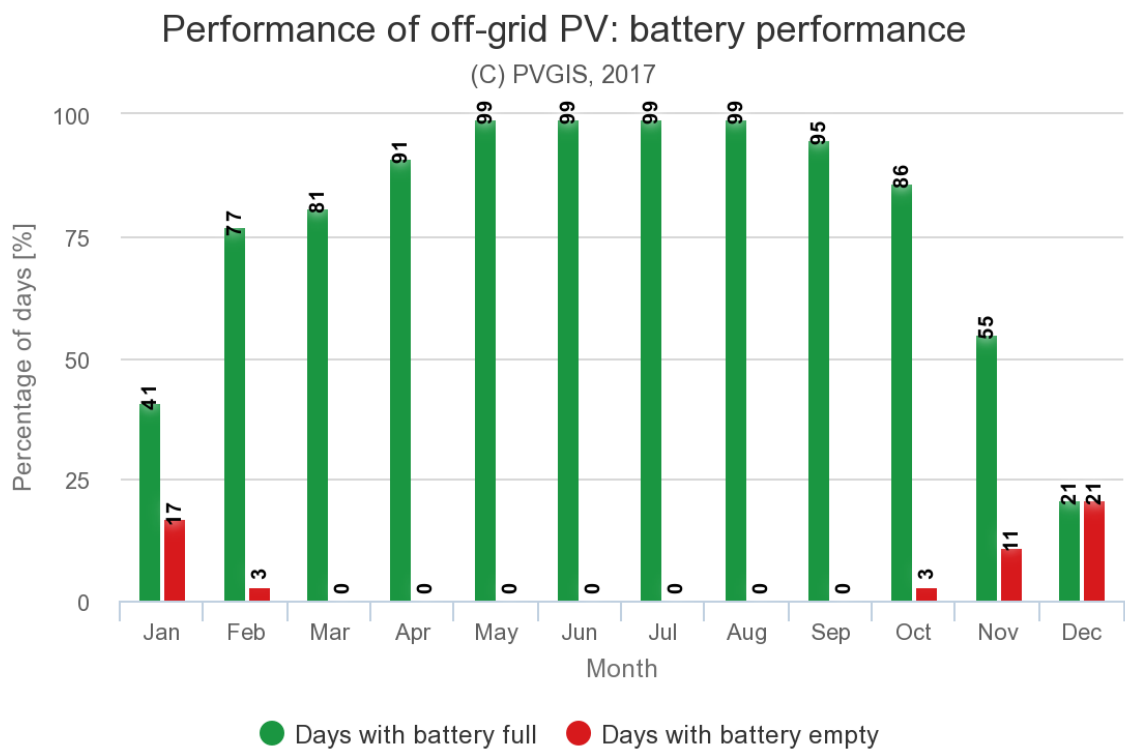
Mesos	Producció FV [kWh]	Consum 2030 [kWh]	Diferencia [kWh]
Gener	26.336	13.686	12.650
Febrer	35.055	23.536	11.519
Març	57.293	25.276	32.017
Abril	74.969	46.526	28.443
Maig	93.486	29.596	63.890
Juny	97.773	15.836	81.937
Juliol	97.952	18.844	79.108
Agost	85.015	5.696	79.319
Setembre	63.791	16.268	47.523
Octubre	45.896	27.110	18.786
Novembre	29.064	18.566	10.498
Desembre	22.948	21.144	1.804
Total	729.577	262.084	467.493

Imatge 41. Taula on es representa la producció i el consum per l'alternativa 2.

Per obtenir les dades d'energia mensual, s'ha seguit exactament el mateix procediment que s'ha utilitzat en l'alternativa anterior, que ha estat a través de les hores equivalents extreïdes de l'Atles de l'ICAEN. Observem doncs, que en el còmput general, produïm molta més energia que no pas es consumeix, fet característic en moltes instal·lacions d'autoconsum aïllades. Tanmateix hi ha mesos de l'any on el consum és superior a la producció, és aquí on hauríem de necessitar el grup electrogen en cas que les bateries no puguin emmagatzemar prou energia.



Imatge 42. Gràfic de la producció respecte el consum



Imatge 43. Estat de les bateries tenint en compte la nova producció.

A través de la Imatge 43 observem que segurament en els mesos de gener i desembre hi haurà dies en que el sistema fotovoltaic no podrà abastir a la demanda del circuit i

haurem d'utilitzar puntualment el grup electrogen i cremar combustible. Aquest fet es degut a l'explicat anteriorment, ja que el consum mitja diari no és realment al que entrem en el programa de càlcul. Veient la gràfica de la Imatge 42, podem afirmar amb seguretat que amb l'ajuda de les bateries podrem realitzar un autoconsum aïllat de la xarxa.

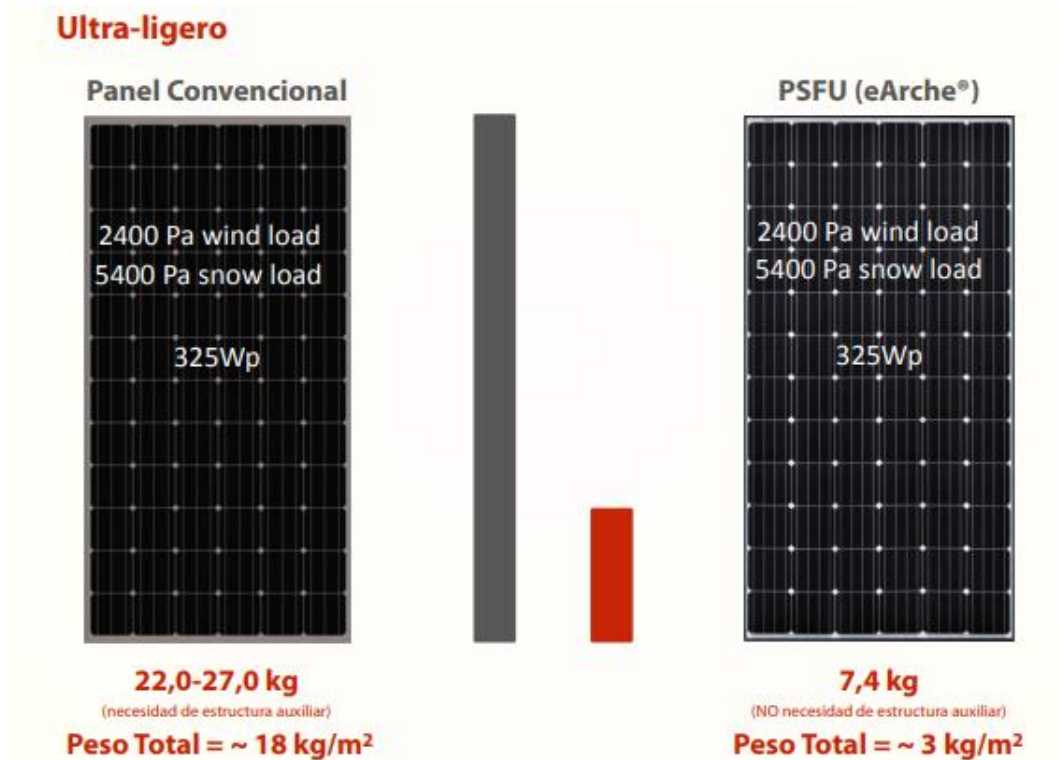
Aquesta alternativa ens permet dir que la tecnologia fotovoltaica pot jugar un paper molt important no a nivell domèstic sinó també en el món de la indústria, ja que es pot adaptar amb molta facilitat als diferents consums elèctrics que es puguin tenir.

5.1.6. Alternativa 3. Producció amb les lones fotovoltaïques monocristal·lines vs consum del 2030.

Per a aquesta alternativa, s'utilitzaran lones fotovoltaïques monocristal·lines fabricades per l'empresa andalusa, de Sevilla, anomenada TSO. És una empresa amb una ampla gama de lones fotovoltaïques, la seva activitat principal la basa en la comercialització d'aquest estil de productes per a instal·lacions d'autoconsum. Ha fet molts projectes a nivell mundial emprant aquestes lones com a solució. A la seva cartera de productes hi podem trobar petites lones fotovoltaïques que van del 35 Wp fins als 325 Wp de potència màxima. La seva gama de productes s'anomena PSFU.

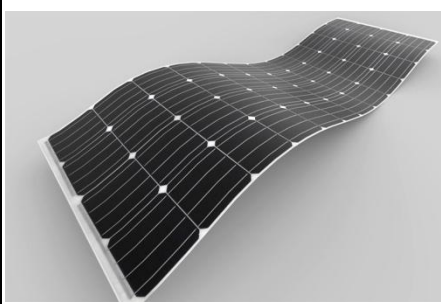
Durant les negociacions amb aquesta empresa varem obtenir uns preus de 1,2 €/Wp, casi el doble del preu de les lones fotovoltaïques utilitzades per aquest projecte de l'empresa Sinoltech. Aquest augment del preu es deu a que les lones tenen una major riquesa en quant a sílice a les seves cèl·lules fotovoltaïques, que significa un augment de la seva eficiència. Mentre que les lones de A-Si tenen una eficiència del 8%, aquestes arriben a superar el 16%. Les prestacions tècniques d'aquest producte són molts similars a les que et pot oferir un panell solar fixa.

En la següent imatge es pot veure una comparativa entre un mòdul fotovoltaic convencional i un mòdul flexible de l'empresa TSO. A la comparativa veiem com per una mateixa potència màxima, el mòdul flexible és 6 vegades més lleuger que el convencional i no necessita de cap estructura auxiliar per subjectar-lo.



Imatge 44. Comparativa d'un panel convencional i un flexible.

La fitxa tècnica i la taula de preus, aportades pel fabricant, per a aquest producte aniran adjunts a l'annex del propi projecte. Ara simplement es farà una breu descripció de les característiques més importants.

Fitxa tècnica	PSFU 325MONO	
Potència màxima (Pmax)	325 Wp	
Eficiència	16%	
Longitud	1960 mm	
Amplada	990 mm	
Superfície	1,94 m ²	

Imatge 45. Característiques tècniques del producte de TSO.

Tot i que en aquesta Imatge 45, només surt informació del producte amb la potència màxima més elevada, cal comentar que per fer l'estudi amb aquest producte s'ha tingut en compte totes les 3 games de productes de TSO per tal d'optimitzar el màxim les

superfícies de cada coberta. En la següent imatge veurem quin és la millor combinació de productes per tal de tenir la màxima potència instal·lada en la nostra instal·lació fotovoltaica.

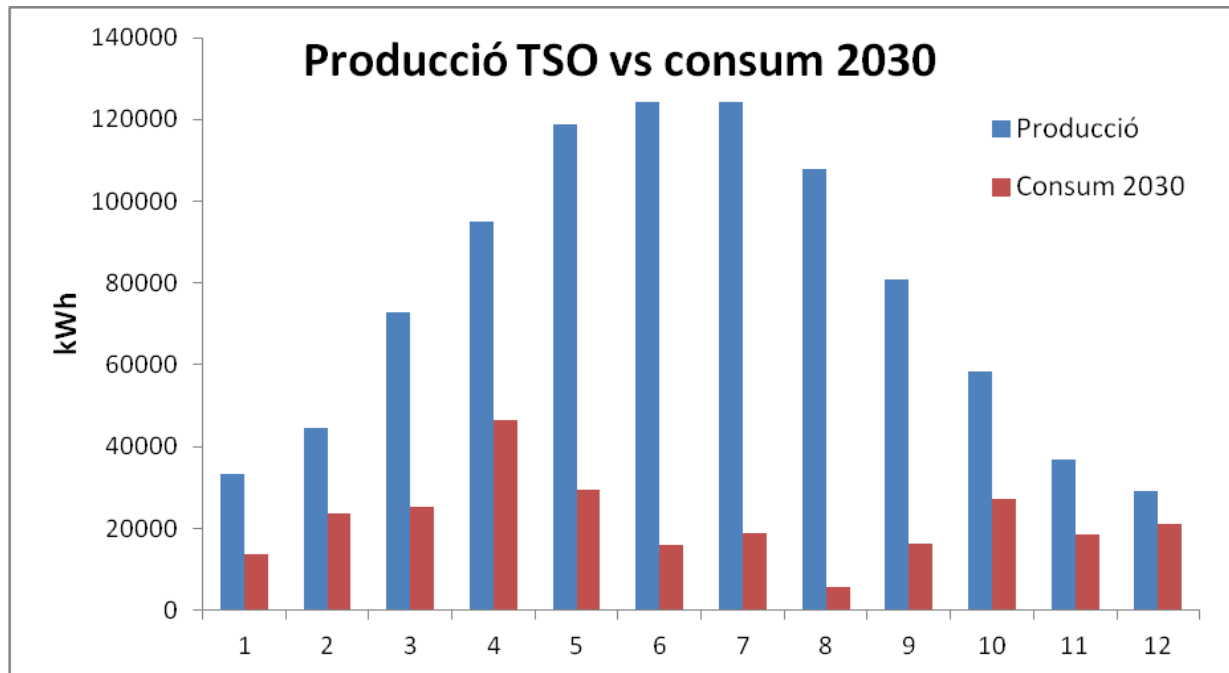
Zones	Superfície Útil [m ²]	Superfície ocupada [m ²]	Lones PSFU 110 MONO [unitats]	Lones PSFU 325 MONO [unitats]	Potència instal·lada [kWp]
Zona 1	520	505	0	260	85
Zona 2	462	446	0	231	75,075
Zona 3	1.188	1.428	1.320	285	237,825
Zona 4	1.463	1.102	0	568	184,60
Zona 5	720	707	0	366	118,95
Total	4.353	4.187	1.320	1.710	700,95

Imatge 46. Distribució de les zones del circuit amb el producte de TSO.

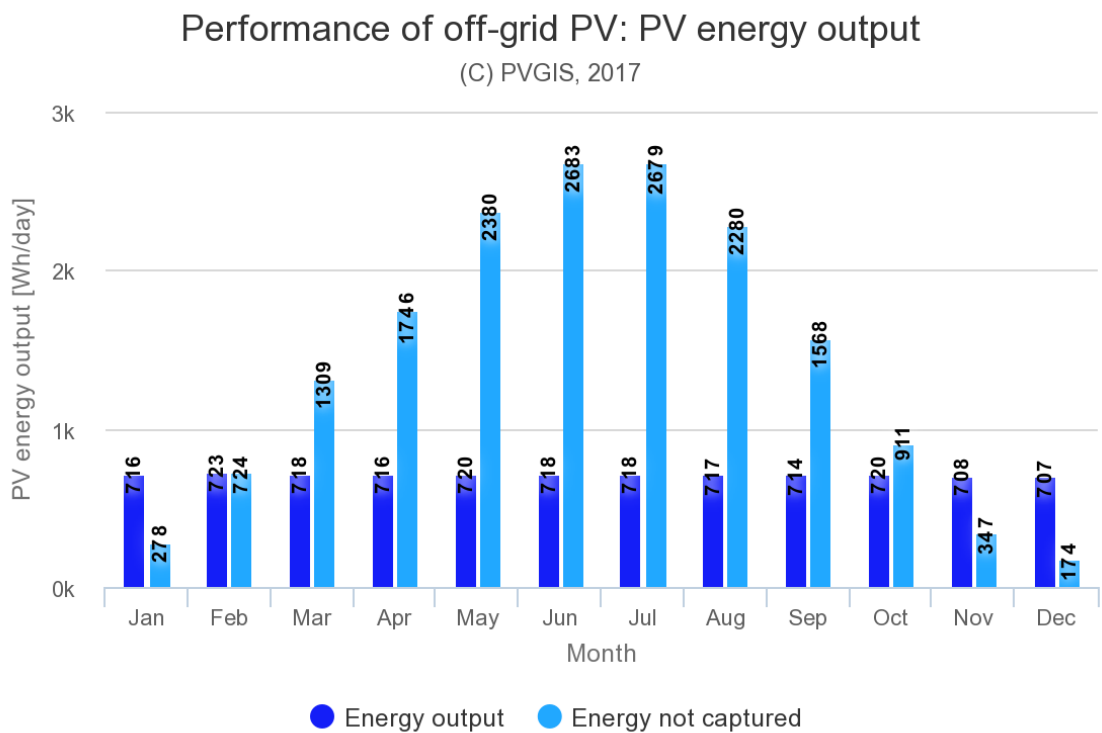
Amb aquest producte d'alta eficiència podem veure com amb la mateixa superfície útil la potència instal·lada augmenta de forma notable fins a 701 Wp. També observem que gràcies a l'amplia cartera de productes de TSO, ens surt que la millor combinació és utilitzar 1320 lones fotovoltaïques de 110 Wp per a la Zona 3 i 1.710 lones flexibles per la resta de les zones.

Per fer una comparació amb les altres alternatives, la potència específica d'aquesta és de 168 Wp/m². Recordar que en les anteriors alternatives la potència específica era 132 W/m² per l'alternativa 2 i 63 W/m² per la primera.

Tot seguit es mostra un gràfic per poder comparar la producció mensual de la instal·lació fotovoltaica amb el consum previst pel 2030 del circuit Parcmotor. Es veu com la producció a cada mes és molt superior al consum mensual del circuit ja que l'eficiència d'aquestes lones són molt elevades i s'obté una gran potència específica.

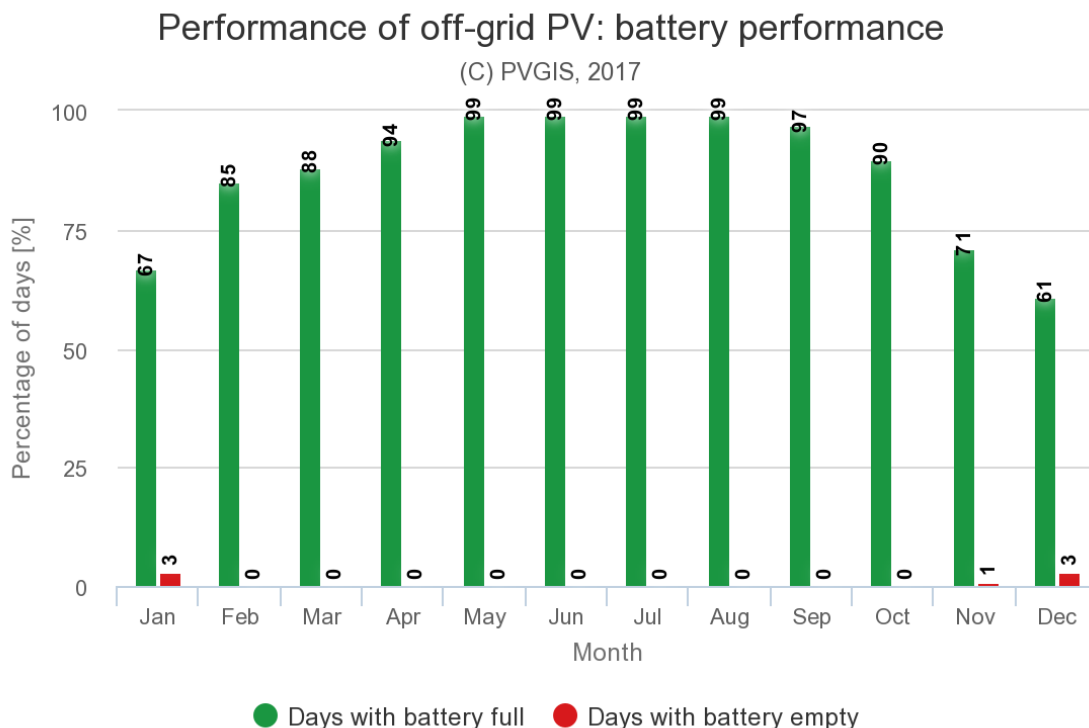


Imatge 47. Producció mensual vs el consum del circuit previst pel 2030.



Imatge 48. Gràfica de l'energia utilitzada i de l'energia perduda.

Per a aquesta alternativa m'ha sembla útil mostrar aquest gràfic per donar-nos compte del sobredimensionament que cal fer per tal d'aconseguir un autoconsum totalment aïllat de la xarxa i prescindir de l'ajuda del grup electrogen. Aquest sobre dimensionament es tradueix en moltes ocasions en energia que no podem aprofitar, ja que en aquell instant es produeix molt per sobre del consum i les bateries estan pràcticament a plena càrrega en molts moments del dia.



Imatge 49. Estat de les bateries per a aquesta alternativa 3.

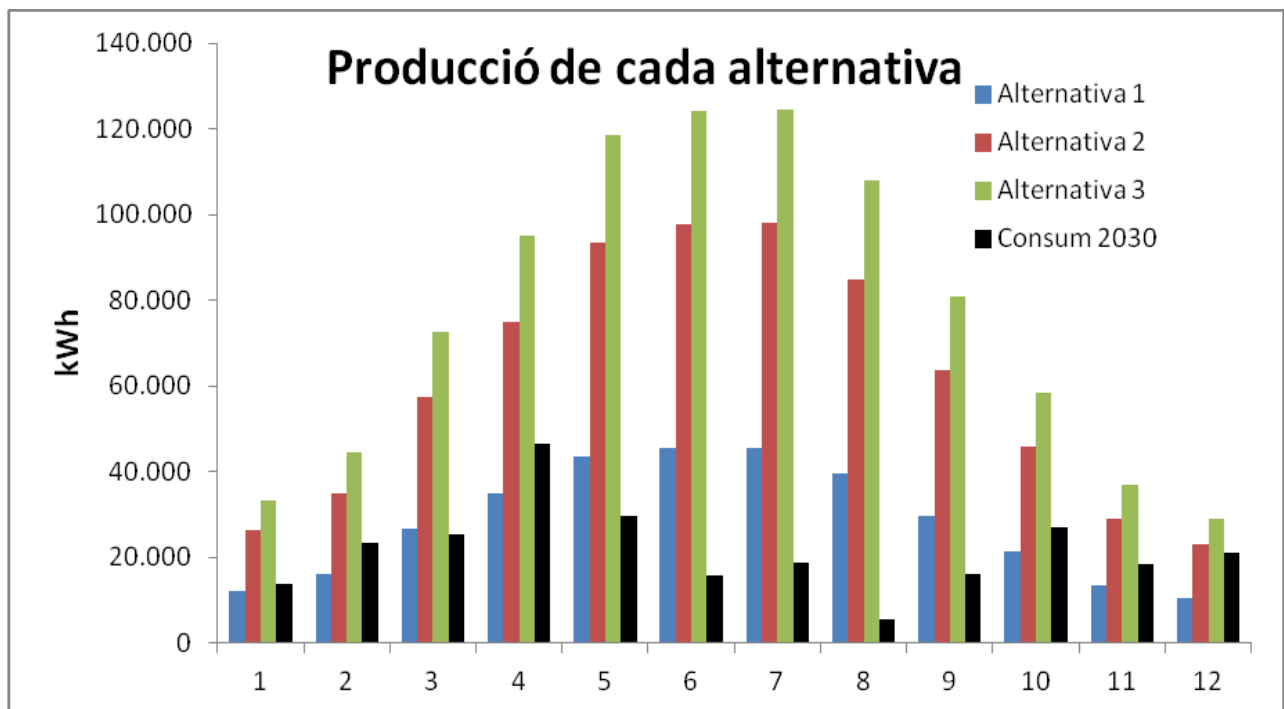
Veiem com amb aquesta alternativa sí que podem fer un autoconsum fotovoltaic totalment aïllat de la xarxa, ja que com que hem de suposar un consum diari igual per tot l'any hi ha mesos en que carreguem més el consum i no segueixen del tot a la realitat.

Tot seguit, i per concloure aquest apartat del projecte, faré una comparativa on s'hi relaxarà les 3 alternatives amb el consum previst pel 2030 per veure com pot arribar a influir el tipus de tecnologia fotovoltaica que es vulgui utilitzar per a un cas en concret.

Zones	Superfície Útil [m ²]	Potència Alternativa 1D [kWp]	Potència Alternativa 2 [kWp]	Potència Alternativa 3 [kWp]
Zona 1	520	32,01	81,60	85
Zona 2	462	27,936	69,12	75,075
Zona 3	1.188	85,554	112,336	237,825
Zona 4	1.463	70,713	176,64	184,60
Zona 5	720	40,16	112,32	118,95
Total	4.353	256,37	552,02	700,95

Imatge 50. Comparativa de la distribució de cada zona segons el producte utilitzat.

Pel que fa l'energia anual per a cada alternativa es mostrarà amb el següent gràfic on també surt el consum del circuit a llarg termini.



Imatge 51. Energia produïda per a cada producte en les 5 zones del circuit.

6. RESULTATS ECONÒMICS

El pressupost per a cada proposta contempla el cost dels elements, que són les lones fotovoltaïques, les bateries i els inversors. Es considera que no es demana cap préstec bancari per tal de fer front a la inversió de la instal·lació fotovoltaica sense bateries.

L'estudi econòmic inclourà l'alternativa 1A que és la que es vol dur a terme en un primer instant, posteriorment es farà l'estudi econòmic de l'alternativa 1D i es compararà amb l'alternativa 2 i 3. La comparació es farà únicament amb la diferència del cost de les lones fotovoltaïques entre les alternatives, ja que és el cost més rellevant, 80% del total, i la resta dels costos que variarà entre una alternativa i l'altre són els euros que suposarà els inversors respecte el total.

Pel que fa les bateries, com s'ha comentat anteriorment en el present projecte, realment les bateries seran proporcionades per una empresa de manera que abaratirà molt cost de la instal·lació, però per fer els pressupostos s'ha considerat dues alternatives, la primera que es compraven noves i la segona considerant que l'empresa amb qui s'han negociat les bateries de segona vida ens les proporciona a cost 0 a canvi de tractes en el circuit.

També es farà una taula de ingressos que suposarà el que fins ara tenia que fer front el circuit cada mes per pagar l'electricitat per part de la comercialitzadora i pel consum de combustible. Per últim es realitzarà un quadre resum de l'alternativa per podem obtenir el retorn de la inversió i un TIR a 20 anys del projecte.

6.1. Pressupost Alternativa 1A.

El pressupost per a l'alternativa que inicialment es volia dur a terme en aquest projecte suposa:

Element	Model	Cost unitari	Unitats	Cost
Lones fotovoltaïques	SNR36-291	0,76	130660	99.301,60 €
Inversor	Sunny Tripower 20000TL	3189	4	12.756,00 €
Inversor	Sunny Tripower 15000TL	2949	1	2.949,00 €
Inversor	Sunny Tripower 10000TL	2364,44	3	7.093,32 €
Bateries	Exide Classic Enersol T 3100	1195	312	372.840,00 €
				494.939,92 €

Taula 1. Pressupost alternativa 1A amb bateries.

Veiem que la partida que ens fa augmentar clarament el cost de la instal·lació són les bateries, ja que es requereix una autonomia de 5 dies per a 24 V. Aquest fet fa que molts dissenys en instal·lacions industrials no es facin totalment aïllats de la xarxa perquè la necessitat d'implementar bateries fa que el cost sigui molt superior.

El cost total de la instal·lació fotovoltaica per a l'Alternativa 1A és de 494.939€ equivalent a 3,78 €/Wp. Fixem-nos que si obtenim les bateries de segona vida tal i com està previst, el cost total de la instal·lació passa a 0,93 €/Wp o el mateix que dir 122.099 €. En la taula 2 es pot veure amb més detall:

Element	Model	Cost unitari	Unitats	Cost
Lones fotovoltaïques	SNR36-291	0,76	130660	99.301,60 €
Inversor	Sunny Tripower 20000TL	3189	4	12.756,00 €
Inversor	Sunny Tripower 15000TL	2949	1	2.949,00 €
Inversor	Sunny Tripower 10000TL	2364,44	3	7.093,32 €
				122.099,92 €

Taula 2. Pressupost per l'alternativa 1A aprofitant les bateries de segona vida.

Amb aquesta diferència de preus, donat per les bateries, fa que el retorn de la inversió a 20 anys, que és el que garanteix el fabricant de les lones fotovoltaïques, no surti rentable si és amb la hipòtesis de comprar les bateries noves.

6.2. Ingressos per a l'alternativa 1A.

Els ingressos de la instal·lació doncs serà l'estalvi que li representa al circuit al no haver de pagar l'electricitat gràcies a l'autoconsum menys els costos d'explotació de la pròpia instal·lació com el cost de manteniment entre d'altres.

En casos com el nostre projecte, en què a més a més de pagar a la comercialitzadora, es necessita utilitzar un grup electrogen per fer front al consum, la inversió surt més rentable ja que l'estalvi anual és major a causa de que el preu del combustible és notablement superior al cost de l'electricitat del mercat.

Així doncs a partir de les factures de Endesa i de les factures de consum de combustible s'obté la següent taula:

	Consum xarxa [kWh]	Cost xarxa [€]	Consum Grup Electrogen [kWh]	Cost combustible [€]	Cost total [€]
Gener	3.558	498,12 €	3.285	985,5	1.483,62 €
Febrer	2.774	388,36 €	8.994	2698,2	3.086,56 €
Març	3.719	520,66 €	8.919	2675,7	3.196,36 €
Abril	2.851	399,14 €	20.412	6123,6	6.522,74 €
Maig	2.501	350,14 €	12.297	3689,1	4.039,24 €
Juny	3.487	488,18 €	4.431	1329,3	1.817,48 €
Juliol	3.050	427,00 €	6.372	1911,6	2.338,60 €
Agost	2.020	282,80 €	828	248,4	531,20 €
Setembre	2.731	382,34 €	5.403	1620,9	2.003,24 €
Octubre	3.361	470,54 €	10.194	3058,2	3.528,74 €
Novembre	3.571	499,94 €	5.712	1713,6	2.213,54 €
Desembre	5.016	702,24 €	5.556	1666,8	2.369,04 €
	38.639	5.409,46 €	92.403	27.720,90 €	33.130,36 €

Taula 3. Cost de l'electricitat del circuit de Castellolí.

Com que el circuit de Castellolí ha de fer front a dos costos, per una banda el de la comercialitzadora, que és de 0,14 €/kWh, i per l'altra banda el preu del combustible, que per a l'obtenció de kWh elèctric és de 0,3 €/kWh, li suposa un cost total anual de 33.130,36€ que surt un preu mig de l'electricitat de 0.253 €/kWh.

Per tal de calcular els ingressos nets anuals de la instal·lació cal tenir en compte el cost afegit per la pròpia planta fotovoltaica que serà majoritàriament el cost del seu manteniment i es suposarà que cobrirem el 90% del consum total del circuit, ja que el grup electrogen haurà de funcionar puntualment.

- El cost del combustible doncs serà de 0,3 €/kwh.
- El cost del manteniment preventiu i correctiu de la instal·lació es suposarà un 1,5% del pressupost.

	Cost combustible	Cost manteniment	Cost explotació	Estalvi brut anual
Sense bateries	3.931,26 €	1.831,50 €	5.762,76 €	27.367,60 €
Amb bateries	- €	5.939,28 €	5.939,28 €	27.191,08 €

Taula 4. Estalvi net anual de la instal·lació.



6.3. Resum dels resultats.

CAS BASE 2019 SENSE BATERIES		AUTOCONSUM CASTELLOÍ
Dades de la instal·lació		
Tecnologia		Solar
Ubicació		Castellolí (Barcelona)
Número de Lones	Ud.	449
Potència unitaria	Wp	291
Potència Instal·lada	kWp	131
Potència nominal	kWp	120
Característiques del projecte		
Retribució a la Inversió (Prima)	€/MWh	0
Estalvi anual teòric	kWp	131.042
Cost equips	€	122.099
Cost obra	€	0
Inversió	€	122.099
Hipòtesi		
Cost electricitat del circuit	€/kWh	0,253
Valor residual	€	6.105
ENTRADES DE CAIXA		
Ingressos		
Hipòtesis de Prima	€/MW	0
Preu mig anual	€/kWh	0,253
Energia consumida	kWh	131.042
Estalvi Energia i Combustible	€	33.127
Total Ingressos	€	33.127,42 €
SORTIDES DE CAIXA		
Lloguer terrenys	€	0
Serveis de manteniment	€	1.831
Subministre de Combustible	€	3.931
Correctius	€	0
Total costos explotació	€	5.762,00 €

RESULTATS		
Resultat d'explotació	€	27.365
Amortització	€	5.800
Benefici AI	€	21.565
Impostos	€	0
Bdl	€	21.565,00 €

Taula 5. Quadre resultat de la instal·lació.

Si prolonguem el cas base del 2019 pels pròxims 20 anys tenint en compte una inflació de l'1%, un augment del cost de l'energia de l'1% i uns correctius cada cert temps de 500€ obtenim la següent taula amb el corresponent TIR.

Anàlisi del projecte		
Energia Estalviada	kWh/any	131.042
Inversió Inicial	€	122.099
anys de l'anàlisi		20
TIR Projecte sense finançament		12,6%

Taula 6. TIR del projecte a 20 anys.

	Pressupost	Beneficis	Retorn de la inversió
Sense bateries	122.099,92 €	21.567,86 €	5,66

Taula 7. Retorn de la inversió de la instal·lació.

Veiem doncs que la inversió la recuperarem amb menys de 6 anys de funcionament, que és el temps esperat per una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum de low cost. Això ens fa pensar que aquest tipus de instal·lacions ens proporcionen un estalvi energètic molt important i que relativament amb poc temps tenim la inversió coberta (en cinc anys i mig).

S'ha de tenir present que en una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum els costos d'explotació són petits comparats amb els ingressos (representen aproximadament un 17% dels ingressos). També m'agradaria remarcar que a la Taula 5, al concepte de impostos (25% dels beneficis) li equival 0€ perquè no estem obtinguen un benefici pròpiament dit en termes de comptabilitat, sinó que obtenim un estalvi i en aquest concepte no se li aplica cap impost.

Si tenim en compte que la previsió del preu del combustible està en constant augment, que el preu del mercat elèctric segueix en la mateixa tònica i que el consum elèctric cada vegada és més elevat fa que l'autoconsum encara surti més rentable econòmicament.

6.4. Comparació de les alternatives

Alternatives	Potència Pic [Wp]	Cost Unitari [€/Wp]	Cost Total [€]
1D	256.370	0,76	194.841,2
2	552.020	0,8	441.616
3	700.950	1,26	883.197

Taula 8. Cost de les diferents lones fotovoltaïques.

Abans d'entrar amb detalla amb la Taula 7, m'agradaria comentar que el preus que m'han arribat a donar de les lones fotovoltaïques estan clarament fora de mercat, actualment el preu €/Wp dels panells fotovoltaïcs de silici policristal·lí ronden els 0,4 €/Wp i ens han donat un preu de 0,8 €/Wp per la mateixa tecnologia.

Considerant que el cost més important d'una instal·lació fotovoltaica (sense tenir en compte les bateries) són les plaques, podem veure el que representa cada alternativa a nivell econòmic pel Parcmotor.

Primer de tot comentar la diferencia de l'alternativa 1A i 1D ja que es doble el preu inicial de la inversió però els ingressos seran molt més elevats ja que cobrirem pràcticament el doble de la demanda energètica que en l'alternativa 1A així que el retorn a la inversió no es veurà casi afectat.

Per un costat veiem que el cost unitari de les lones fotovoltaïques entre l'alternativa 1D i 2 són molt similars, mentre que si ens fixem amb l'alternativa 3 surt un cost de 1,5 vegades superior als altres dos. Això és degut a que actualment la majoria de les instal·lacions fotovoltaïques, es realitzen mitjançant la tecnologia policristal·lina (alternativa 2) i els preus són molt competitius respecte al low cost.

7. MANTENIMENT DE LA INSTAL·LACIÓ

El manteniment dels sistemes fotovoltaics és mínim, principalment de caràcter preventiu i correctiu, i ocasionalment es pot incorporar un predictiu; la instal·lació fotovoltaica no té parts mòbils sotmeses a desgast (al no tenir cap estructura on es suportin les lones, no poden portar incorporades cap elements com seguidors solars) ni requereix canvis de peces ni lubricant. Tot i així, es considera recomanable realitzar revisions periòdiques de les instal·lacions, per assegurar que tots els components funcionen correctament i poder garantir un funcionament òptim de la instal·lació.

Dos aspectes a tenir en compte són, d'una banda, assegurar que cap obstacle faci ombra sobre els mòduls, i de l'altre, mantenir neta la part exposada als raigs solars dels mòduls fotovoltaics.

Les pèrdues per brutícia poden arribar a ser d'un 5%, i es poden evitar amb una neteja d'aigua un cop cada any.

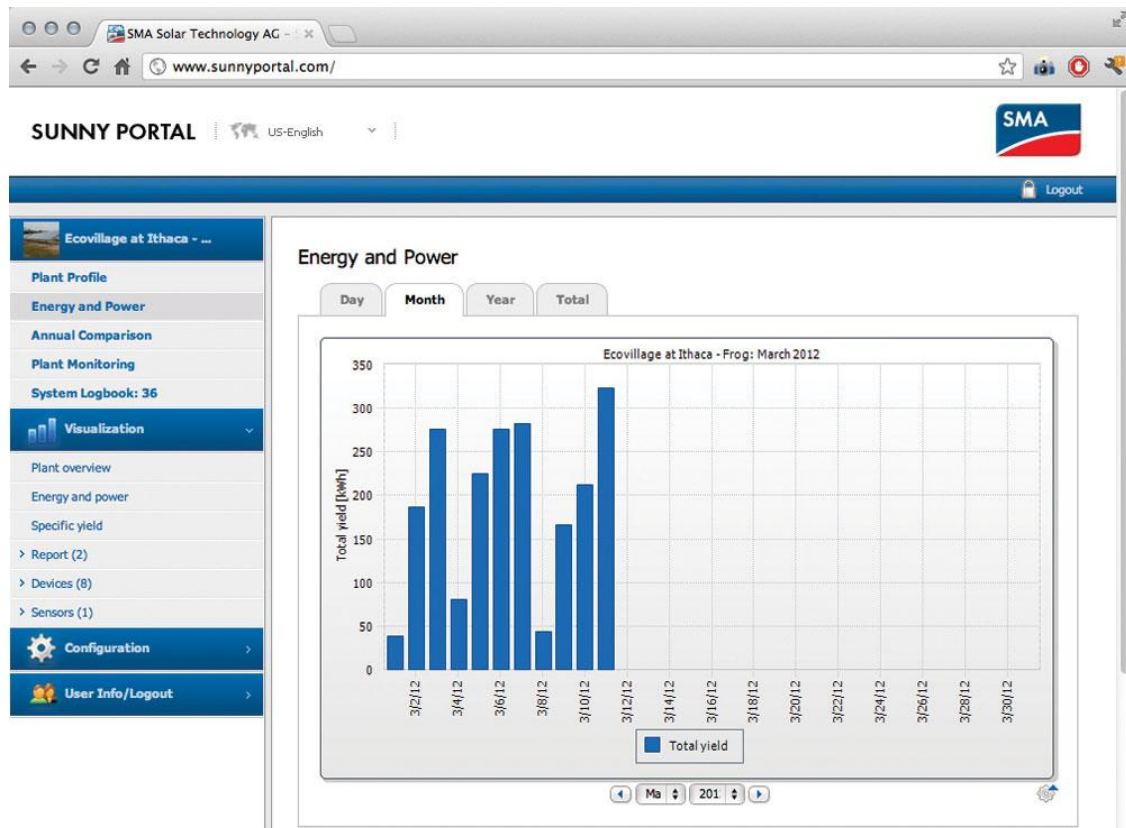
Els sistemes fotovoltaics tenen molt poques possibilitats d'avaría, especialment si la instal·lació s'ha realitzat correctament. Bàsicament les possibles reparacions que puguin ser necessàries són les mateixes que qualsevol aparell o sistema elèctric a l'abast d'un electricista, com per exemple possibles fusibles dels inversors, fallos en el quadre elèctric de la instal·lació, etc.

Les principals operacions de manteniment preventiu en una instal·lació d'autoconsum són les següents:

1. Revisar el cablejat, aspectes mecànics, elèctrics i de neteja.
2. Realitzar calibratge d'equips de regulació i control, com sondes de temperatura i radiació si fos oportú.
3. Realitzar un anàlisi termogràfic de les diferents zones per evitar possibles "hot points" en les lones fotovoltaïques, en el cablejat i en el quadre elèctric.

Pel que fa al manteniment correctiu de la instal·lació; són totes aquelles operacions realitzades com conseqüència de la detecció de qualsevol incident en el funcionament de les instal·lacions, en el manteniment predictiu o en el manteniment preventiu.

Per últim, com que la marca dels inversors SMA, que s'ha escollit per realitzar aquest projecte, porten incorporats intrínscament un sistema per tal de poder bolcar dades en un servidor i aquest les mostra en el seu portal, Sunny Portal. De manera que només demanant accés en aquest portal, de forma totalment gratuïta, pots fer el seguiment de la producció dels diferents inversors i comprovar que tot el sistema funcioni correctament. D'aquesta manera es pot fer un manteniment predictiu molt bàsic però efectiu per l'estil de instal·lació.



Imatge 52. Manteniment predictiu del portal de SMA, SUNNY PORTAL.

8. ESTUDI DE L'IMPACTE MEDI AMBIENTAL DE LA INSTAL·LACIÓ

En l'actualitat l'impacte ambiental sobre l'ecosistema del nostre planeta ha cobrat molta importància. La preocupació per les conseqüències ambientals, socials i econòmiques ha anat creixent al llarg dels anys, a més dels compromisos en els acords del Protocol de Kyoto sobre el consum i generació d'energia. Tot això ha portat a la societat a voler desenvolupar les energies renovables perquè aquestes puguin ser més eficients.

Un dels aspectes més positius de la instal·lació fotovoltaica prové de l'absència d'emissions contaminants a l'atmosfera, evitant així, l'efecte hivernacle, la pluja àcida i la reducció de la capa d'Ozó.

L'energia solar fotovoltaica, és una energia renovable, per tant, és una font d'energia "gratuïta" i inesgotable, a més, és més respectuosa amb el medi ambient que la resta d'energies convencionals. Això es deu al fet que sobre el medi físic no existeixen afeccions, ni sobre la qualitat de l'aire, ni sobre sòls, com tampoc es produeixen sorolls, ni vibracions, ni s'afecta a la hidrologia de l'entorn.

Les instal·lacions fotovoltaiques tenen caràcter autònom i descentralitzat, el que presenta serioses avantatges a l'hora d'aconseguir un desenvolupament sostenible.

En l'estudi ambiental es poden diferenciar clarament dues grans fases: la de fabricació o construcció dels mòduls fotovoltaics, i la d'operació o explotació de la instal·lació.

8.1. Fase de construcció dels mòduls

A l'hora de fabricar els mòduls fotovoltaics s'utilitzen materials com el silici (cristal·litzat i amorf), germani, seleni, AsGa, sulfurs diversos i òxids de coure, entre d'altres. Durant aquesta fabricació es produeixen emissions de TeCd, B₂H₆, BCl₃, H₂, HF, SeH₂, SH₂, CH₄, PH₃, POCl₃, P₂O₅, entre altres i vapors metàl·lics, alguns tòxics.

En aquesta fase de construcció, ens trobem la famosa petjada de les plaques solars o l'anomenada taxa de retorn energètic (TRE). Es coneix com els anys que una placa ha d'haver estat funcionant per tal que hagi generat tanta energia com la que s'ha gastat en la fabricació de la placa mateixa. Fa cinquanta anys una placa podia trigar-ne vint a arribar a aquest llinar però, des de llavors, ha plogut molt. Els incessants avenços tecnològics permeten emprar força menys material per cada cèl·lula fotovoltaica, alhora que millorar-ne el rendiment. El termini de la TRE és més curt o més llarg segons la

tecnologia concreta de la placa i de la quantitat de radiació solar que rep (i, evidentment, de l'estona en què està en funcionament). L'Institut de Energía Solar de la Universitat Politècnica de Madrid considera que actualment, a les instal·lacions més comunes, la TRE està al voltant de dos anys (si bé hi ha casos en què pot ser de sis mesos). Les plaques solen estar en garantia 15-25 anys, i és fàcil que en durin més.

Un altre aspecte important és l'origen i disponibilitat de les matèries primeres. Una cèl·lula fotovoltaica conté sobretot silici, un dels elements més abundants de la Terra: és el component principal de la sorra. De totes maneres, el silici que s'empra a les cèl·lules fotovoltaïques (i també als xips de la microelectrònica), que s'anomena silici metal·lúrgic, no s'obté de sorra sinó de jaciments de quars, actualment molt abundants respecte a la demanda.

Enllaçant amb la petjada de les plaques, cal parlar de les condicions laborals de les regions on es fabriquen aquestes cèl·lules fotovoltaïques. Com passa a tants altres sectors manufacturers, la gran majoria de cèl·lules i plaques fotovoltaïques es fabriquen a la Xina o altres països asiàtics. No s'ha trobat cap informe sobre les condicions laborals en aquest sector. Sí que és sabut que en aquests països abunden les condicions laborals properes a l'explotació i que, a la Xina, hi ha una vulneració generalitzada dels drets humans.

També es fabriquen plaques a Europa. Fonts del sector indiquen que, en general, el preu és més elevat que el de les asiàtiques, si bé em això també hi intervé la qualitat del fabricant, sigui d'una o altra regió econòmica.

8.2. Fase d'operació i/o funcionament de la instal·lació

Aquesta fase es caracteritza per l'estalvi d'emissions de CO₂, que es produeix en generar energia elèctrica a partir de l'energia solar. Durant la vida útil de la instal·lació no es produeixen ni sorolls ni vibracions.

Pel que fa el medi físic no es veu afectat ni el sòl, ja que en el cas de instal·lacions fotovoltaïques en coberta no es produeixen rases per la cimentació ni calbejat, només es pot veure afectada la zona del talús inclinat, ni les aigües residuals, degut a que no hi ha cap tipus de abocaments en rius adjacents a la instal·lació, ni a l'aire, ja que provoca efectes beneficiosos en quant a no emissions de CO₂.

8.3. Reduccions de les emissions de CO₂

En aquest apartat es calcularan les emissions amb aquesta nova instal·lació fotovoltaica de Castellolí.

Per això s'han agafat els factors d'emissions derivades del consum elèctric de producció nacional per a l'any 2018 (desembre), del butlletí de l'Observatori de l'Electricitat d'ADENA-WWF.

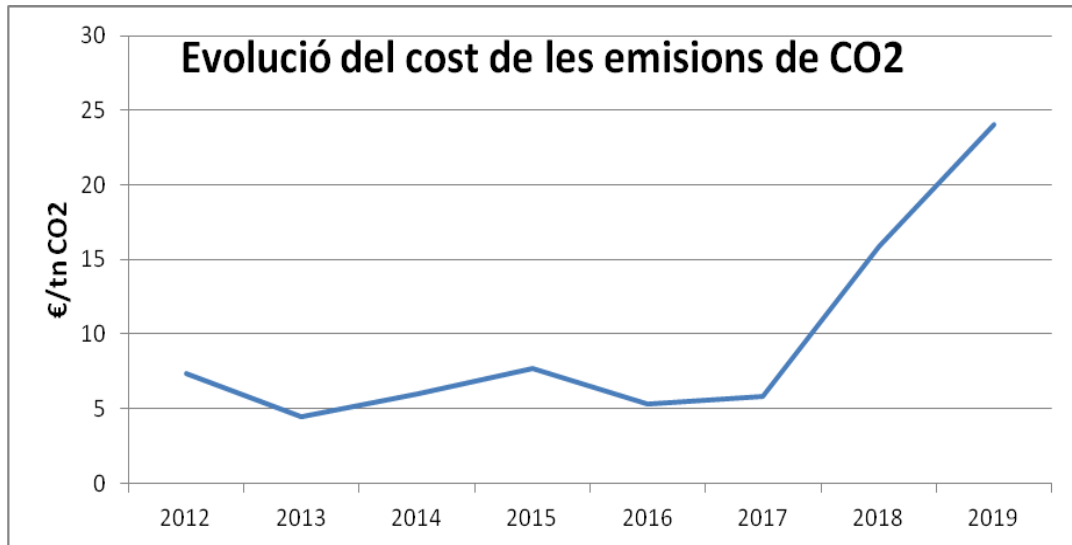
L'emissió mitjana anual de l'estat de diòxid de carboni pel 2018 per cada kWh produït d'energia elèctrica és de:

- CO₂: 0,31 kg / kWh

També es pot observar la quantitat d'arbres que es necessiten per poder netejar el total de les emissions.

Atès que Espanya va signar el protocol de Kyoto, està obligada a reduir el nombre d'emissions de gasos contaminants. El fet de no complir aquesta quantitat d'emissions, suposa una multa. Hi ha uns acords entre països que permeten la compra dels anomenats "crèdits", són quantitats d'emissions que es compren uns als altres. Com que hi ha països que els sobren i a uns altres que els falten, respecte al protocol de Kyoto, està permesa la seva compra i venda.

Al mes de desembre del 2018 el preu a pagar per a cada tona de CO₂ emesa a l'atmosfera per a la producció elèctrica és de 22,57 €/ tona de CO₂ de mitjana. El cost d'aquestes emissions han augmentat de forma exponencial durant aquest 2018 i la previsió és que no deixi d'augmentar. Aquest concepte és un dels factors que ha fet augmentar el preu de l'electricitat en aquest 2018 tot i haver estat un bon any en quant a renovables, hidràulica, eòlica i com sempre les hores equivalents per a la fotovoltaica.



Imatge 53. Evolució del cost de les emissions de CO₂.

Atenent doncs al increment de consum que té previst el Parcmotor juntament amb el constant augment del cost de les emissions de CO₂ pot arribar a suposar un petit estalvi per l'estat cada any.

Aquest és un altre dels aspectes en què l'autoconsum afavoreix a la reducció del preu de l'electricitat per a la resta dels consumidors, ja que no es paguen tants impostos en aquest concepte.

9. CONCLUSIONS

En el present projecte s'ha estudiat l'aplicació de la tecnologia fotovoltaica de capa fina amb silici amorf en un circuit de competició on la seva activitat, i per tant el seu consum, està en constant desenvolupament. S'ha optat per unes lones de low cost, i amb les seves diferents modalitats de cèl·lules fotovoltaïques, amb l'objectiu de projectar-les sobre les cobertes d'aquest circuit i conèixer la capacitat de generació, per tal d'emprar un autoconsum totalment aïllat de la xarxa.

En quant els productes estudiats en aquest projecte s'ha donat més importància al de capa fina de silici amorf per tal de seguir amb la filosofia de low cost del projecte. És per això que dins de l'alternativa 1 hi ha 4 escenaris (A,B,C,D) per veure la seva competitivitat a dia d'avui i fins el 2030. Els altres tipus de productes fotovoltaïcs s'han utilitzat per poder fer comparacions i veure l'abast de la tecnologia fotovoltaica per una mateixa superfície útil.

Pel que fa els resultats de producció obtinguts es pot veure clarament de la dificultat de realitzar un autoconsum totalment aïllat de la xarxa sense utilitzar el grup electrogen com a font de recolzament. T'obliga a sobredimensionar el generador fotovoltaic per tal de cobrir les hores on la producció és nul·la, a fer una gran instal·lació de bateries que fa que el projecte no sigui viable econòmicament i a la pèrdua de molta de l'energia que es genera durant el dia i no és consumida ni emmagatzemada.

Seguint amb la producció, comentar que l'alternativa 1A, que és la solució que es tenia en ment realitzar en el circuit de Castellolí en un primer instant, es veu com amb poc temps la producció quedarà obsoleta respecte al consum elèctric i de l'incapacitat de realitzar un autoconsum aïllat de la xarxa a dia d'avui, ja que en nombrosos moments de l'any la demanda és superior a la producció. És per això que s'ha fet l'estudi energètic amb l'alternativa 1B i veure la seva evolució amb les alternatives 1C i 1D. Amb l'alternativa 1B es veu com la tecnologia de capa fina actualment si que pot ser una bona solució per cobrir la demanda energètica però amb l'alternativa 1D es veu que en el 2030 serà incapaç de fer front a la demanda energètica i de la impossibilitat de desconnectar-se de la xarxa elèctrica. És per això que neixen les alternatives 2 i 3 per veure si realment la tecnologia fotovoltaica pot ser una solució útil en el circuit de Castellolí per aconseguir aïllar-se de la xarxa de distribució i només utilitzar el grup electrogen en casos d'emergència.

A través de l'alternativa 2 es veu com actualment i amb la previsió de doblar el consum (escenari del 2030) es pot realitzar un autoconsum fotovoltaic totalment aïllat de la xarxa.

L'alternativa 3 fa referència a un producte fotovoltaic d'alta eficiència i més que res es per veure l'abast d'aquesta tecnologia en el circuit de Castellolí.

En quant a la conclusió de l'anàlisi econòmic de l'alternativa 1A, s'observa que la instal·lació és totalment viable econòmicament obtenint un retorn de la inversió de 5 anys i mig i un TIR a 20 anys del 12,6% que es considera una xifra prou elevada. L'estalvi anual del 65% del cost actual de l'electricitat arribant a un 83% quan s'hagi amortitzat la instal·lació. També s'ha realitzat una comparativa amb les alternatives 1D, 2 i 3 i s'observa com l'alternativa 3 queda totalment descartada ja que és totalment inviable econòmicament.

Per últim ressaltar de la gran importància de l'autoconsum a nivell del mercat elèctric. L'autoconsum domèstic i/o industrial contribueix a la disminució de la demanda global elèctrica estatal, de manera que s'utilitzaran menys combustibles fòssils per poder cobrir amb la demanda elèctrica, fet que disminuirà el cost de l'electricitat i les emissions de CO₂ a l'atmosfera entra d'altres gasos de l'efecte hivernacle.

Així doncs com a reflexió a nivell personal i veient la voluntat actual d'establir canvis en la normativa energètica espanyola en un futur, realitzaria un autoconsum connectat a la xarxa utilitzant les 5 zones del circuit i el producte fotovoltaic de capa fina de manera que ens permetria trobar un millor equilibri entre la potència instal·lada i el consum del circuit per tal d'abaratir costos. També ens permetria, en un futur optimista, poder realitzar un balanç net de la instal·lació amb la xarxa de distribució, en aquest cas propietat de Endesa, per tal d'obtenir una major rendibilitat en el projecte.

10. AGRAÏMENTS

Vull agrair la direcció del projecte al meu tutor Emilio Hernández per la seva implicació en el mateix i per haver-me donat l'oportunitat per realitzar aquest projecte i aprendre d'ell. A més agraeixo la seva disponibilitat per estar en contacte sobre qualsevol dubte que ha pogut sorgir.

Com a part important en el projecte, he d'agrair a en Ton Pons, director del circuit Parcmotor de Castellolí, per haver-me proporcionat els plànols de les diferents zones sobre les quals s'ha fet l'estudi i donar-me accés a les instal·lacions del circuit per tal de poder obtenir les dades necessàries per fer el dimensionat de la instal·lació.

També m'agradaria agrair a familiars i amics que m'han seguit durant aquest treball final de màster donant-me consells i ajudant-me per poder haver arribat fins aquí.

Per últim m'agradaria agrair a totes aquelles persones comercials de les respectives empreses, per tal de donar-me informació del producte de les lones fotovoltaïques i de negociar els seus preus. Persones com l'Alex i la Susan de l'empresa Sinoltech o l'Eva de l'empresa TSO Oracle, entre molts d'altres.

11. BIBLIOGRAFIA

[1] REAL DECRET 900/2015, del 9 d'octubre, pel que es regula les condicions administratives, tècniques i econòmiques de les modalitats de subministra d'energia elèctrica amb autoconsum i de producció amb autoconsum.

[2] REAL DECRET LLEI 15/2018, del 5 d'octubre, de mesures urgents per la transició energètica i la protecció dels consumidors.

[3] REAL DECRET LLEI 1/2012, del 27 de gener, pel que es procedeix a la suspensió dels procediments de preassignació de retribució i a la supressió dels incentius econòmics per a noves instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de cogeneració, fonts d'energia renovables i residus.

[4] REAL DECRET 661/2007, de 25 de maig, pel que es regula la connexió a la xarxa d'instal·lacions d'energia elèctrica en règim especial.

[5] REAL DECRET 2366/1994, de 9 de desembre, sobre la producció d'energia elèctrica per instal·lacions hidràuliques, de cogeneració i altres abastides per recursos o fonts renovables.

[6] LLEI 54/1997, del 27 de novembre, del Sector Elèctric.

[7] LLEI 82/1980, de 30 de desembre, sobre la conservació de l'energia.

[8] MORALES DE LABRA, J. ADIÓS, PETROLEO. Historia de una civilización que sobrevivió a su dependencia del oro negro. Alianza: 2017, p. 45-53, 99-113.

[9] PEIRON, M. Sobre les petjades de les plaques solars. OPCIONS, Impulsem el consum conscient.

[<http://opcions.org/consum/petjades-plaques-solars/>, 13 de desembre de 2018].

[10] MACÍAS, E. Autoconsumo con baterías frente al balance neto. ENERGÍAS RENOVABLES, El periodismo de las energías limpias.

[<https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/autoconsumo-con-baterias-frente-al-balance-neto-20190108>, 8 de gener del 2019].

[11] Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020. (IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

[<http://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>, 17 de novembre 2018].

[12] Comissió Europea, Photovoltaic Geographical Information System:

[<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, 3 de desembre del 2018].

[13] La eliminación del ‘impuesto al sol’, entre lo más destacado de 2018 para las ONGs ecologistas. EL PERIÓDICO DE LA ENERGÍA.

[<https://elperiodicodelaenergia.com/la-eliminacion-del-impuesto-al-sol-entre-lo-mas-destacado-de-2018-para-las-ongs-ecologistas/>, 5 de gener del 2019].

[14] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. Informes anuales ‘El Sistema Eléctrico Español’.

[<https://www.ree.es/es/gobierno-corporativo/informes-y-otros-documentos>, 21 de noviembre de 2018].

[15] OMIE. *Precio del mercado eléctrico español*.

[<http://www.omie.es/files/flash/ResultadosMercado.swf>, 7 de gener de 2019].

[16] Atlas de radiación solar en Cataluña. Edición 2000. (ICAEN: Instituto Catalán de la Energía)

[http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/12_serveis/06_estrategia/enllacos_planificacioEnergetica/monografic12.pdf, 28 de novembre del 2018].

[17] PFC. Aplicación de la tecnología fotovoltaica flexible en un grupo de empresas del sector de la automoción. Universidad Politécnica de Cataluña, Autora: Ana García del Canto, Abril 2013.